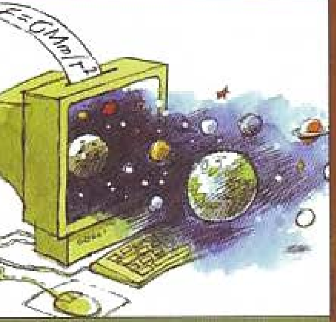

الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 22 - العددان 4/3
مارس/ أبريل 2006

SCIENTIFIC AMERICAN
March/ April 2006

العددان: 216/215 - السعر: 1.500 دينار كويتي



حدود البحث عن سبب



العصر المنسي
للشيپات الدماغية

الطفرات الوراثية
والهجرة البشرية عبر آلاف السنين





المقالات



«مجلة العلوم» تصدر شهرياً في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. «مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.



حدود البحث عن سبب[*]

إن الجمع بين أفكار القرن السابع عشر المتعلقة بالتعقيد[1] والعشوائية[2] ونظرية المعلومات الحديثة يقتضي استحالة وجود «نظرية كل شيء»[3] للرياضيات.

<G. تشايتين>

في عام 1956، نشرت مجلة ساينتفيك أمريكان مقالة كتبها <E. ناكيل> و <J. R. نيومان> بعنوان «برهان كوديل»[4]. وبعد ذلك بعامين، نشر هذان المؤلفان كتابا بالعنوان نفسه. لقد كان عملا رائعا حقا، ويشهد على ذلك أنه يُطبع حتى الآن. وحينذاك لم أكن قد بلغت بعد سن المراهقة، ومع ذلك استحوذ هذا الكتاب الصغير على جميع أفكاري. ومازلت أذكر الرعشة التي انتابتني عندما اكتشفته في مكتبة نيويورك العامة. بعد ذلك، صرت أصحبه معي دائما، وأحاول شرح محتواه لغيري من الأطفال.

لقد فتنني هذا الكتاب لأن <K. كوديل> استعمل علم الرياضيات ليبين أن للرياضيات نفسها حدودا لا يمكن تجاوزها، مفندا بذلك إعلان <D. هِلْبَرْت> قبل نحو قرن من الزمان، الذي ادّعى فيه وجود ما يُسمى «نظرية كل شيء للرياضيات»، أي وجود مجموعة **منتهية** finite من المبادئ، التي يمكن الانطلاق منها من دون جهد عقلي يذكر، لاستنتاج جميع الحقائق الرياضياتية، وذلك باتباع منظومة طويلة ومملة من قواعد المنطق الرمزي[5]. لكن <كوديل> برهن على أن الرياضيات تتضمن **دعاوى** statements حقيقية لا يمكن إثباتها بتلك الطريقة. وقد بنى استنتاجه على مُحَيِّرَتَيْن paradoxes ذاتيتي الإسناد[6] هما: «هذه الدعوى خاطئة» و«هذه الدعوى غير قابلة للإثبات.»[7]

لقد استغرقت محاولتي لفهم برهان كوديل حياتي كلها. والآن، وبعد نصف قرن من الزمان، نَشَرْتُ كتيبا في هذا الموضوع. وأستطيع الادعاء، أنه، إلى حد ما، صياغتي الخاصة لمضمون كتاب <ناكل> و<نيومان>؛ لكنه لا يركّز على برهان كوديل. الشيئان المشتركان الوحيدان بين هذين الكتابين هما حجمهما الصغير وهدفهما الذي يتجلّى في نقد الطرائق الرياضياتية.

وخلافا لطريقة <كوديل> في معالجة الموضوع، تستند طريقتي إلى قياس المعلومات وتبيان أن بعض الحقائق الرياضياتية **غير قابلة للضغط** incompressible في نظرية بسبب تعقيدها الشديد. وتوحي هذه الطريقة الجديدة أن ما اكتشفه كوديل كان قمة الجبل الجليدي، بمعنى أن ثمة عددا غير منتهٍ من **المبرهنات** theorems الرياضياتية الصحيحة التي لا يمكن إثباتها انطلاقا من أي منظومة منتهية من **المسلّمات** axioms.

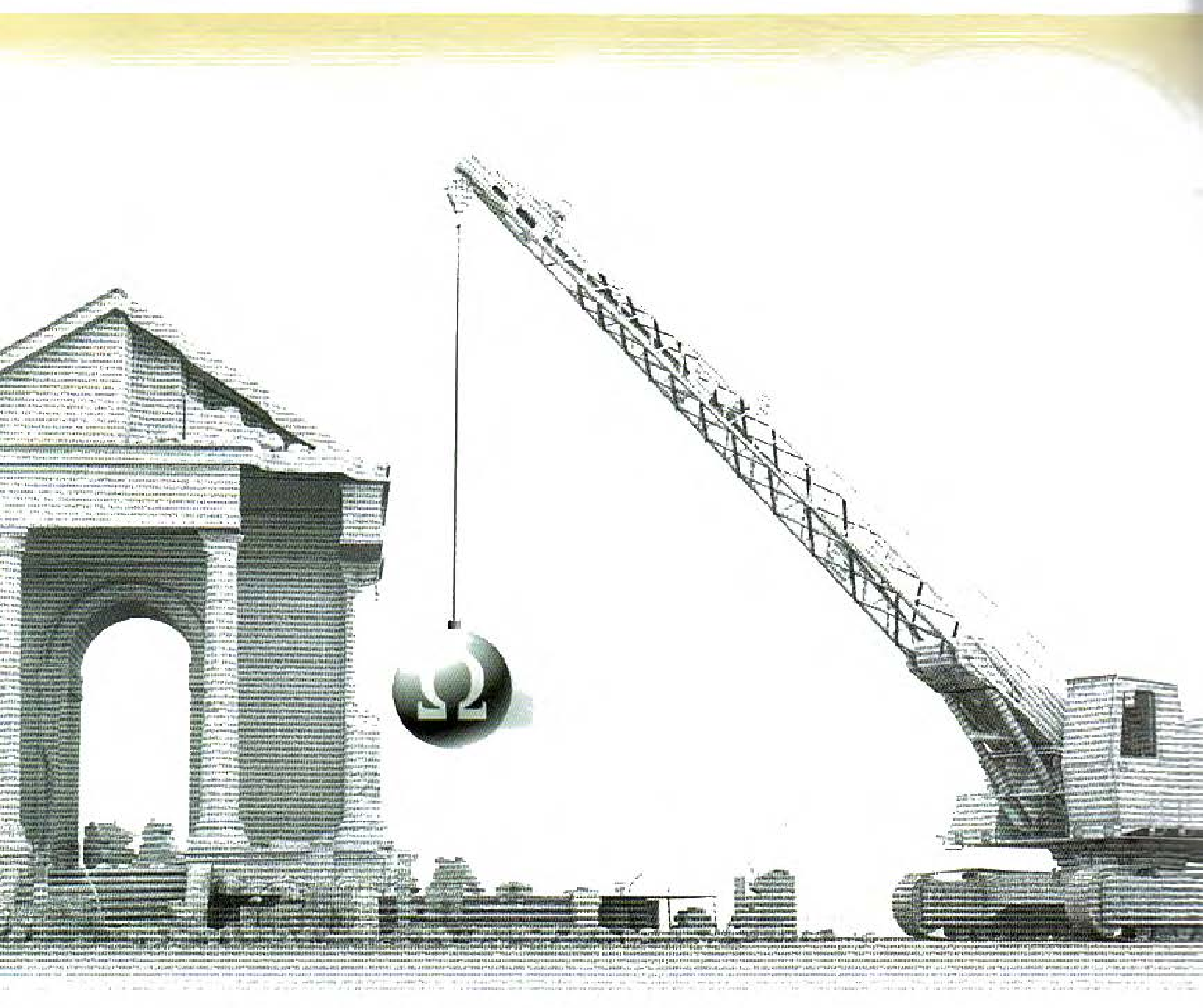
التعقيد والقوانين العلمية[***]

تبدأ قصتي سنة 1686 التي نشر فيها <W. G. لايبنتز> مقالة فلسفية بعنوان *Discours de métaphysique* (*حديث الميتافيزيقا*)، ناقش فيها كيف يمكن للمرء التمييز بين الحقائق التي يمكن وصفُها بقانون ما، وتلك الحقائق الشاذة التي لا تُستنتَج من أيّ قانون. وتَردُ فكرة <لايبنتز>، البالغة البساطة والعمق، في الفصل الرابع من كتابه، حيث يذكر أن النظرية يجب أن تكون أبسط من البيانات[8] التي تفسِّرها، وإلاّ لَمَا فسّرت النظريةُ أيّ

نظرة إجمالية/ التعقيد غير القابل للاختزال[**]

- أثبت <K. كوديل> أن الرياضيات غير تامة incomplete بالضرورة، فهي تحوي دعاوى statements لا يمكن البرهان عليها. ثمة عدد مشهور يسمى أوميكا يبدي درجة عالية من عدم التمام وذلك بتوفير عدد غير منته من المبرهنات التي لا يمكن إثباتها بأي نظام منته من المسلّمات. لذا يستحيل وجود «نظرية كل شيء» للرياضيات.
- العدد أوميكا معرَّف تماما [*انظر الإطار في الصفحة 6*]، وله قيمة محدَّدة، ومع ذلك لا يمكن حسابه بوساطة أي برنامج حاسوبي منته.
- توحي خاصيات أوميكا بأنه يتعين على علماء الرياضيات صوغ مسلّمات جديدة، بطريقة شبيهة بالطريقة التي يتبعها الفيزيائيون في تقييم النتائج ووضع قوانين أساسية لا يمكن إثباتها منطقيا.
- إن النتائجَ المنسوبة إلى أوميكا مؤسَّسة على مفهوم المعلومات الخوارزمية. وقد تنبأ <W. G. لايبنتز> بعدد كبير من سمات نظرية المعلومات الخوارزمية قبل أكثر من 300 سنة.

(*) THE LIMITS OF REASON
(**) Overview / Irreducible Complexity
(***) Complexity and Scientific Laws
(1) complexity
(2) randomness
(3) theory of everything
(4) Gödel's Proof [انظر: «كوديل وحدود المنطق»، العلوم، العدد 10 (2001)، ص 40].
(5) symbolic logic
(6) self-referential أو «فيها إحالة إلى الذات».
(7) [لمعرفة المزيد عن «نظرية كوديل في عدم التمام» Gödel's incompleteness theorem انظر: www.sciam.com/ontheweb]



إن وجود أوميكا (Ω) ـ وهو عدد معين معرَّف جيدا لا يُمكن حسابُه باستعمال أيِّ برنامج حاسوبي ـ يقضي على الآمال التي تصبو إلى رياضيات تامة complete تشمل كل شيء، وتُعْزَى فيها صحةُ كل حقيقة صحيحة إلى سبب ما.

شيء. فمفهوم قانونٍ ما يصبح خاليًا من المضمون إذا سُمِحَ بوجود تعقيد رياضياتي شديد، لأن مثل هذا التعقيد يجعلنا قادرين دائما على بناء قانون بصرف النظر عن كمِّ العشوائية والخلوِّ من النمطية[1] التي تتسم بها البيانات. وبالعكس، فإذا كان القانون الوحيد الذي يفسِّر بعض البيانات بالغَ التعقيد، كانت البيانات في الحقيقة متمردة على القوانين.

وفي هذه الأيام تُقَدَّم فكرتا التعقيد والبساطة بمصطلحات كمية دقيقة بوساطة فرع حديث من الرياضيات يسمى نظرية المعلومات الخوارزميَّة[2]. وفي نظرية المعلومات العادية تُكَمَّمُ المعلومات بطرح السؤال عن عدد **البتَّات** bits اللازمة **لتكويد** encode المعلومات. وعلى سبيل المثال، نحتاج إلى بتة واحدة لترميز إجابة واحدة: نعم/لا. وفي المقابل، تُحَدَّدُ المعلومةُ الخوارزميةُ تبعا لحجم البرنامج الحاسوبي اللازم لتوليد البيانات. وأقلُّ عدد من البتاتِ ـ طول متتالية الأصفار والواحدات ـ يلزم لخزن البرنامج يسمى محتوى المعلومة الخوارزمية من البيانات[3]. وهكذا، فللمتتالية غير المنتهية من الأعداد ...,1,2,3 معلومة خوارزمية صغيرة جدا، إذ يمكن لبرنامج حاسوبي قصير جدا، أن يولِّد هذه الأعداد جميعها. وليس المهم طول البرنامج اللازم لإجراء الحسابات، ولا حجم الذاكرة التي عليه استعمالها ـ إذ المهم هو طول البرنامج بالبتات. (أتجاوز هنا السؤال عن نوع لغة البرمجة المستعملة في كتابة البرنامج ـ فالتعريف الصارم يتطلب تحديد اللغة بدقة، ذلك أن لغات البرمجة المختلفة تولِّد قيما مختلفة إلى حد ما، لمحتوى المعلومة الخوارزمية.)

(1) patternless
(2) algorithmic information theory
(3) the algorithmic information content of the data

وإليكم مثالا آخر: للعدد النيبري ... 3.14159 = π أيضا محتوى معلومة خوارزمية صغير، لأن بالإمكان برمجة خوارزمية قصيرة نسبيا في حاسوب لحساب رقم تلو آخر. وفي المقابل، فإن لعدد عشوائي مكون من مليون رقم فقط، وليكن 1.341285...64، محتوى معلومة خوارزمية أكبر بكثير. وبسبب افتقار هذا العدد إلى نمط محدد، فإن أقصر برنامج لإخراجه سيكون بطول العدد نفسه:

```
Begin
Print "1.341285...64"
End
```

[جميع الأرقام الموجودة بين الرقمين 5 و 6 محتواة في البرنامج.] وليس بإمكان أي برنامج أصغر حساب متتالية الأرقام تلك. وبعبارة أخرى، إن مثل هذا الدَّفق من الأرقام غير قابل للضغط؛ وأفضل ما يمكننا عمله هو نقلها مباشرة. ويقال عن هذه الأرقام إنها غير قابلة للاختزال[1]، أو عشوائية خوارزميا[2].

تحددُ المعلوماتُ الخوارزميةُ حجمَ البرنامج الحاسوبي الضروري لتوليد مُخرَج معيَّن. إن للعدد π قدرا قليلا من المعلومات الخوارزمية لأنه يمكن توليده بوساطة برنامج قصير. وللعدد العشوائي قدر كبير من المعلومات الخوارزمية؛ وأفضل ما يمكن عمله هو إدخال العدد نفسه. ويصح هذا الإجراء في حالة العدد أوميگا.

تُرى، كيف ترتبط مثل هذه الأفكار بالقوانين والحقائق العلمية؟ والجواب هو توفير نظرة برمجية إلى العلم: فالنظرة العلمية تشبه برنامجا حاسوبيا يتنبأ بملاحظاتنا، أي بالبيانات التجريبية. وثمة مبدآن أساسيان يعبِّران عن وجهة النظر هذه. يتجلى المبدأ الأول، كما لاحظ <W. أوف أوكام>، في أنه إذا قُدِّمَتْ نظريتان تفسِّران البيانات، فإن أبسطهما هي المفضلة (موس أوكام)[3]، أي إن أصغر برنامج يحسب الملاحظات هو النظرية الفضلى. أما المبدأ الآخر، فهو رؤية <لايبنتز> التي يمكن صوغها بالمصطلحات الحديثة كما يلي: إذا كان حجم نظرية بالبتات هو نفس حجم بتات البيانات التي تفسرها، فلا قيمة للنظرية، لأنه عندئذ يكون حتى لأكثر البيانات عشوائية نظرية بالحجم نفسه. والنظرية المفيدة هي ضغط للبيانات؛ وأنت تضغط الأشياء في برامج حاسوبية، في وصفات خوارزمية موجزة. وكلما ازدادت النظرية سهولة، تحسَّن فهمنا لما تنصّ عليه.

السبب الكافي(**)

مع أن <لايبنتز> عاش قبل 250 عامًا من ابتكار البرنامج الحاسوبي، فقد اقترب كثيرا من الفكرة المعاصرة للمعلومات الخوارزمية، إذ كانت لديه جميع العناصر الرئيسية لهذه الفكرة، لكنه لم يربطها معا قطّ. فكان يعرف أن من الممكن تمثيل كل شيء بمعلومة

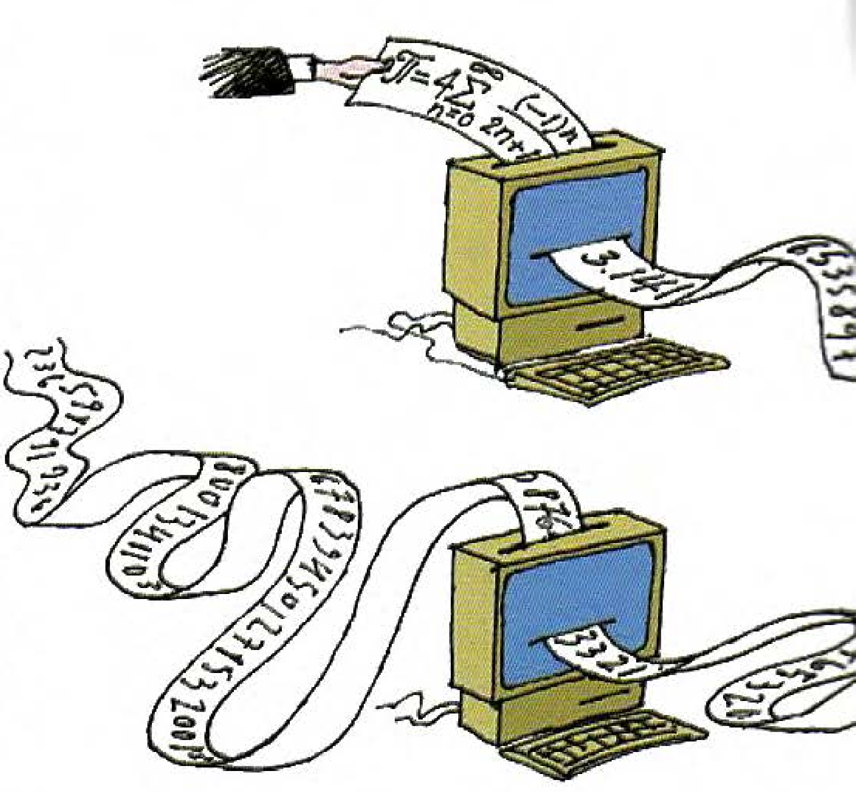
طريقة تعيين أوميگا(*)

لتعرفَ كيفيةَ تحديد قيمة العدد أوميگا، انظر إلى المثال المبسَّط التالي: لنفترض أن للحاسوب الذي نتعامل معه ثلاثة فقط من البرامج التي تتوقف، وهي متتالية البتات الثلاث 110، 11100، 11110. وحجوم هذه البرامج هي، على التوالي، 3، 5، 5 بتة. فإذا كنا نختار البرامج عشوائيا بطريقة نَقْفِ قطعة نقدية في الهواء، لكلِّ بتة، فإن احتمال الحصول على كلٍّ منها مصادفة هو بالضبط $1/2^3$، $1/2^5$ و $1/2^5$، لأن احتمال ظهور كل بتة يساوي 1/2. لذا فإن قيمة أوميگا [احتمال التوقف] لهذا الحاسوب بالذات تعطى بالمعادلة التي تعطي قيمة أوميگا وهي:

$$\Omega = 1/2^3 + 1/2^5 + 1/2^5 = .001 + .00001 + .00001 = .00110$$

هذا العدد الثنائي هو احتمال الحصول على واحد من برامج التوقف الثلاثة مصادفة. لذا فهو احتمال كون حاسوبنا سيتوقف. لاحظ هنا أنه بسبب كون البرنامج 110 يتوقف، فإننا لا ننظر في أي برامج تبدأ بـ 110 وحجمها أكبر من ثلاث بتات. فمثلا، لا ننظر في البرنامج 1100 أو 1101، أي إننا لا نضيف حدودَ 0.0001 إلى مجموع كلٍّ من هذه البرامج. ونحن نعتبر جميعَ البرامج التي هي أطول، أي 1100 وهلم جرا، محتواة في توقف 110. وثمة طريقة أخرى للتعبير عن هذا، وذلك بأن نقول: إن البرامج تكون محددة ذاتيًا self-delimiting، فحين توقفها، لا تستمر في طلب مزيد من البتات.

(*) How Omega Is Defined
(**) Sufficient Reason
(1) irreducible
(2) algorithmically random
(3) Occam's razor



ثنائية[1]، وقد بنى إحدى أولى الآلات الحاسبة، وكان يقدّر قوةَ الحاسبات حقَّ قدْرها، وناقش موضوع التعقيد والعشوائية.

ولو تسنّى لـ«لايبنتز» وضعُ هذه الأشياء في بوتقة واحدة، فلربما تمكّن من التصدي لواحد من الأركان الأساسية للفلسفة، وهو مبدأ السبب الكافي، الذي ينص على أن حدوث أي شيء يُعزى إلى سببٍ ما. يضاف إلى ذلك أنه إذا كان شيءٌ ما صحيحًا، فإن صحته لابد أن تُعْزَى إلى سببٍ ما. وقد يصعب أحيانا تصديق ذلك، نتيجة ما يعتري حياتنا اليومية من فوضى وشواش[2]، ونتيجة المد والجزر اللذيْن يطرأن على التاريخ البشري. بيد أنه حتى لو لم يكن بمقدورنا دائما رؤية سببٍ (ربما لأن ذلك يتطلب إجراء سلسلة من المحاكمات العقلية الطويلة والحاذقة)، فإن الله، كما أكّد «لايبنتز»، قادر على رؤية السبب. السبب موجود! وفي هذا كان «لايبنتز» على وفاق مع الإغريق الذين كانوا أول من قدم هذه الفكرة.

وبالطبع، يؤمن الرياضياتيون بالسبب وبمبدأ «لايبنتز» في السبب الكافي، لأنهم يسعون دائما إلى البرهان على أي شيء. وبصرف النظر عن مقدار الأدلة المقدمة لإثبات صحة مبرهنة، حتى لو كان هناك ملايين من الأمثلة التي تدعم ـ صحتها، فإن الرياضياتيين يتطلبون حلا للحالة العامة، ولن يرضيهم شيء أقلّ من ذلك.

وهذا هو المجال الذي يمكن فيه لمفهوم المعلومات الخوارزميّة أن تقدّم إسهامها المثير المفاجئ في الحوار الفلسفي المتعلق بمناهل المعرفة وحدودها، إذ يبين هذا المفهوم أن ثمة حقائق رياضياتيّة تكون صحيحة من دون سبب، وهذا كشف يعارض مبدأ السبب الكافي.

وفي الحقيقة، وكما سأوضح لاحقا، فقد تبيّن أن عددًا غير منتهٍ من الحقائق الرياضياتية غير قابل للاختزال، وهذا يعني عدم وجود نظرية تفسّر سببَ كونها صحيحة. وهذه الحقائق ليست غير قابلة للاختزال **حسابيا** computationally فحسب، ذلك أنها غير قابلة للاختزال منطقيا أيضا. والسبيل الوحيد «لإثبات» هذه الحقائق هو افتراضُها مباشرة مسلّمات جديدة من دون إيراد حجج على ذلك مطلقا.

إن مفهوم «المسلّمة» يرتبط ارتباطا وثيقا بفكرة عدم قابلية الاختزال المنطقي. فالمسلّمات هي حقائق رياضياتية نقبلها ولا نحاول إثباتها انطلاقًا من مبادئ أبسط منها. وتُبْنَى جميع النظريات الرياضياتية على مسلّمات، ثم يجري استنباط نتائج منها تسمى **مبرهنات** theorems. وهذا ما فعله إقليدس في الإسكندرية قبل ألفي سنة. وما رسالته في **علم الهندسة** geometry ـ التي سماها الأصول ـ إلا نموذج تقليدي (كلاسيٌ) للإجراءات الرياضياتية.

وفي اليونان القديمة، إذا كنت تريد إقناع مواطنيك ليصوتوا معك على أمرٍ ما، وجب عليك أن تجري معهم محاكمات منطقية ـ وإنني أخمّن أنّ هذا النهج هو الذي جعل اليونانيين يتوصلون إلى الفكرة التي مفادها أنه، في الرياضيات، يتعين عليك البرهان على الأشياء بدلا من أن تقوم بمجرد اكتشافها تجريبيا. وفي المقابل، يبدو أن الحضارات التي سبقت الحضارة اليونانية ـ حضارات بلاد ما بين النهرين ومصر ـ كانت تعتمد على التجربة. ومن المؤكد أن استعمال المحاكمات المنطقية كان نهجًا جدُّ مفيد، وهو الذي أدى إلى الرياضيات الحديثة والفيزياء الرياضياتية وجميع ما يرتبط بها، بما في ذلك تقانة بناء تلك الآلة الرياضياتيّة المنطقية جيدا، ألا وهي الحاسوب.

تُرى، هل ما أقوله هو أن هذا النهج الذي ظلت تسلكه العلوم والرياضيات طوال أكثر من ألفي سنة أخذ في التداعي والانهيار؟ نعم، هذا ما أريد قوله إلى حد ما. وسأختار **مثالي المعاكس** counlerexample، الذي يوضح القوة المحدودة للمنطق والعقل، من مجموعة غير منتهية من الحقائق الرياضياتية غير القابلة للإثبات. هذا المثال هو العدد الذي أسميه **أوميكا** Omega.

العدد أوميكا[*]

جاءت أول خطوة على الطريق إلى أوميكا من بحث شهير نُشِر بعد 250 عاما بالضبط من نشر مقالة «لايبنتز». ففي عام 1936،

(*) The Number Omega

(1) binary information

(2) choas

الفيزياء : نظرية ← حسابات ← تنبؤات للملاحظات والرصد
الرياضيات : مسلمات ← محاكمة منطقية ← مبرهنات
الحسابات : برنامج ← التنفيذ على حاسوب ← مخرجات

في نواح عدة، تشبه الفيزياء والرياضيات تنفيذ برنامج على حاسوب.

وفي عدد من مجلة الجمعية الرياضياتية اللندنية[1] بدأ <A. M. تورينك>[2] عصر الحواسيب بتقديمه نموذجًا رياضياتيًا لحاسوب رقمي بسيط، غير مصمم لغرض خاص، وقابل للبرمجة. وقد طرح تورينك حينذاك مسألة عما إذا كان بمقدورنا أن نحدِّدَ ما إذا كان برنامج حاسوبي سيتوقف في وقت من الأوقات أو لا. وهذه هي مسألة التوقف الشهيرة لتورينك[3].

وبالطبع، فعندما تشغِّل برنامجًا، يمكنك أن تكتشف في نهاية المطاف أنه يتوقف إذا توقف فعلا. والمشكلة - وهي مشكلة أساسية جدا - هي أن تقرر متى تُوقِفُ برنامجًا لا يتوقف. يمكن حل هذه المسألة في عدد كبير من الحالات الخاصة، لكن <تورينك> بيّن أن تقديم حل عام لها شيء مستحيل. فليس من الممكن بتاتًا أن تحدد لنا خوارزميّة، أو نظرية رياضياتية البرامجَ التي تتوقف، وتلك التي لا تتوقف[4]. وبالمناسبة، عندما أقول «برنامج» بالمصطلحات الحديثة، فأنا أعني تسلسل البرنامج الحاسوبي والبيانات التي تُقْرأ بوساطة البرنامج.

الخطوة التالية في الطريق إلى العدد أوميكا هي النظر في مجموعة كل البرامج الممكنة. فهل سيتوقف في وقت ما برنامج اختيرَ عشوائيا؟ احتمال حدوث ذلك هو العدد الذي سميته أوميكا. أولا، عليَّ أن أحدد طريقة أخذ برنامج عشوائيا. البرنامج هو، ببساطة، سلسلة من البتات، لذا أَنْقُفُ قطعة نقدية في الهواء لتحدد قيمة كل بتة. ولتحديد طول سلسلة البتات التي يتألف منها البرنامج، تابِعْ نَقْفَكَ للقطعة النقدية مادام الحاسوب يطلب بتة أخرى للإدخال. أوميكا هو بالضبط احتمال توقف الحاسوب أخيرا بعد تزويده بدفق stream من البتات العشوائية بهذه الطريقة. (وتتوقف القيمة العددية الدقيقة لأوميكا على اختيار لغة برمجة الحاسوب، لكن الخاصيات المدهشة لأوميكا لا تتأثر بهذا الاختيار. وما إن تختار لغةً، فإنك تجد قيمة محددة لأوميكا، تماما مثل π أو العدد 3).

وبسبب كون أوميكا احتمالا، يجب أن يكون أكبر من 0 وأصغر من 1، لأن بعض البرامج يتوقف وبعضها الآخر لا يفعل ذلك. تَصَوَّرْ كتابةَ أوميكا بالنظام الثنائي[5]. عندئذ تحصل على شيء ما من قبيل ...0.1110100 وتكوِّن هذه البتات بعد الفاصلة العشرية دفقًا غير قابل للاختزال من البتات، وما هذا الدفق إلاّ حقائقنا الرياضياتية غير القابلة للاختزال (وكل واحدة من هذه الحقائق هي البتة 0 أو البتة 1).

من الممكن تحديد أوميكا بمجموع غير منته، وكل برنامج من N بتة من النمط الذي يتوقفُ، يُكَوِّنُ بالضبط $1/2^N$ من هذا المجموع [*انظر الإطار في الصفحة 6*]. وبعبارة أخرى، فكل برنامج ذي N بتة ويتوقف، يضيف 1 إلى البتة التي ترتيبها N في النشر الثنائي لأوميكا. فإذا ضَمَمْتَ جميعَ بتّات جميع البرامج التي تتوقف، حَصَلْتَ على القيمة الدقيقة لأوميكا. قد يجعلك هذا الوصفُ تعتقد أنك قادر على حساب أوميكا بدقة، مثلما تفعل عند حسابك للجذر التربيعي للعدد 2، أو حسابك للعدد π. لكن الأمر ليس كذلك - فمع أن أوميكا مُعَرَّفَة تماما، وأنها عدد محَدَّد، غير أنّ من المستحيل حسابها بدقة تامة.

يمكننا التوثق من أن أوميكا تستعصي على الحساب لأن معرفة أوميكا ستمكّننا من حل مسألة تورينك في التوقف، لكننا نعرف أن هذه المسألة غير قابلة للحل. وبعبارة أكثر تحديدًا، فإن معرفة أول N بتة في أوميكا ستمكّنك من توكيد، أو نفي، ما

إن نظرية علمية هي مثل برنامج حاسوبي يتنبأ بملاحظتنا للكون. والنظرية المفيدة هي ضغط للبيانات، فاستنادا إلى عدد صغير من القوانين والمعادلات، يمكن حساب عوالم البيانات بأكملها.

(1) Proceedings of the London Mathematical Society

(2) انظر: «أفكار *آلان تورينك المنسية في علم الحاسوب*»، **العلوم**، العدد 1 (2000) ص 20.

(3) Turing's famous halting problem

(4) للاطلاع على برهان حديث لمسألة تورينك، انظر WWW.sciam.com/ontheweb

(5) binary system

ما السبب في كون العدد أوميگا غير قابل للضغط؟(*)

أريدُ إثبات أنّ أوميگا غيرُ قابل للضغط ـ أي إننا لا نستطيع استعمال برنامج حجمه أصغر كثيرا من N بتة لحساب بتات أوميگا الأولى التي عددها N. يتضمن الإثبات مجموعة دقيقة من الحقائق المتعلقة بالعدد أوميگا ومسألة تورينگ في التوقف المتصلة به اتصالا وثيقا. وسأستفيد من الحقيقة القائلة بأن مسألة التوقف للبرامج التي يصل طولها إلى N بتة لا يمكن حلّها ببرنامج طوله أقل من N بتة [انظر: WWW.sciam.com/ontheweb].

واستراتيجيتي في البرهان على أن أوميگا غير قابل للضغط هي تبيان أنه إذا توافرت لدينا بتات أوميگا الأولى التي عددها N، فإنها تنبئني بكيفية حلّ مسألة تورينگ في التوقف للبرامج التي يصل طولها إلى N بتة. ويترتب على هذه النتيجة أنه لا يمكن لأي برنامج طوله أقل من N بتة حساب بتات أوميگا التي عددها N. [لو وُجد برنامج من هذا القبيل، لأمكنني استعماله لحساب بتات أوميگا الأولى التي عددها N، ثم استعمال تلك البتات لحل مسألة تورينگ حتى N بتة ـ وهذه مهمة مستحيلة لمثل هذا البرنامج القصير].

سنرى الآن كيف أن معرفة N بتة من أوميگا تمكّنني من حل مسألة التوقف ـ لتحديد تلك البرامج التي تتوقف ـ وبالنسبة إلى جميع البرامج التي يصل حجمها إلى N بتة. سنعمل ذلك بإجراء الحسابات على مراحل. نختار العدد الصحيح K لتمييز المرحلة التي نحن فيها: ...,K = 1,2,3.

في المرحلة K، نشغّلُ البرامج وصولاً إلى تلك التي حجمها K بتة مدة K ثانية. بعد ذلك نحسب احتمالاً للتوقف سنسميه أوميگا (ΩK)، استناداً إلى جميع البرامج التي تتوقف بحلول المرحلة K.

سيكون ΩK أقلّ من أوميگا لأنه يستند فقط إلى مجموعة جزئية من جميع البرامج التي سوف تتوقف في النهاية، على حين أن أوميگا يستند إلى جميع البرامج.

ومع تزايد K، تصبح قيمة ΩK أقرب فأقرب إلى القيمة الحقيقية لأوميگا. وعند اقترابها من القيمة الحقيقة لأوميگا، ستكون البتات الأولى لـΩK مضبوطة أكثر فأكثر ـ وهذا نفس ما يحدث للبتات المقابلة لأوميگا.

وعندما تصبح البتات الأولى التي عددها N مضبوطة، فأنت تعرف أنك قابلت جميع البرامج التي تتوقف وصولا إلى تلك التي حجمها N بتة [لو كان ثمة برنامج آخر حجمه N بتة، ففي مرحلة قادمة K، سيتوقف هذا البرنامج، وهذا يزيد من قيمة ΩK لتصبح أكبر من أوميگا، وهذا مستحيل.]

لذا يمكننا استعمال أول N بتة لأوميگا في حل مسألة التوقف لجميع البرامج وصولا إلى تلك التي حجمها N بتة. لنفترض الآن أنه يمكننا حساب أول N بتة لأوميگا ببرنامج طوله أقصر كثيرا من N بتة. عندئذ يمكن أن ندمج هذا البرنامج بذاك الذي ينفّذ خوارزمية ΩK لتوليد برنامج طوله أقصر من N بتة بغية حل مسألة تورينگ في التوقف، وصولا إلى برامج طولها N بتة.

لكننا نعرف، كما سبق وذكرنا، أن مثل هذه البرامج ليس لها وجود، ومن ثم فإن أول N بتة في أوميگا تتطلب لحسابها برنامجا طوله N بتة تقريباً. وهذا جيد تماما لوصف العدد أوميگا بأنه غير قابل للضغط أو غير قابل للاختزال. [إن ضغط N بتة ليصبح عددها N بتة تقريبا ليس شيئا جوهريا عندما يكون العدد N كبيرًا]

<G. C.>

إذا كان كل برنامج يصل حجمه إلى N بتة سيتوقف في وقت من الأوقات [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. ويترتب على هذا أنك تحتاج إلى برنامج حجمه N بتة على الأقل لحساب N بتة من أوميگا.

لاحظ أنني لم أقل إن من المستحيل



تمثال للعالم <W. G.> لايبنتز› مُقام في مدينة لايبزيگ بألمانيا. لقد تنبأ ‹لايبنتز› بكثير من سمات نظرية المعلومات الخوارزمية الحديثة قبل أكثر من 300 عام.

حساب بعض أرقام أوميگا. وعلى سبيل المثال، إذا كنا نعرف أن البرامج الحاسوبية 0، 10، 110، تتوقف جميعها، فإننا سنعرف أن الأرقام الأولى لأوميگا هي 0.111. والنقطة الأساسية هي أن الأرقام الأولى التي عددها N في أوميگا لا يمكن حسابها باستعمال برنامج أقصر بكثير من برنامج طوله N بتة.

أهم شيء هو أن أوميگا تزوّدنا بعدد غير منته من هذه البتّات غير القابلة للاختزال. وفي حال أي برنامج منته، مهما بلغ طوله بلايين البتات، نجد عددا غير منته من البتات التي لا يستطيع البرنامج حسابها. وإذا كان لدينا أي مجموعة منتهية من المسلّمات، وجدنا عددا غير منته من الحقائق غير قابلة للبرهان استنادا إلى ذلك النظام من المسلّمات.

وبسبب كون أوميگا غير قابل للاختزال، فمن الممكن الاستنتاج مباشرة استحالة وجود «نظرية كلّ شيء» للرياضيات بأجمعها. إن عددا غير منته من بتات أوميگا تكوّن حقائق رياضياتية (سواء أكانت كل بتة 0 أم 1) لا يمكن استخلاصها من أي مبادئ أبسط من متتالية البتات نفسها. لذا تتسم الرياضيات بتعقيد غير منته، في حين تتسم أي «نظرية كل شيء» بمفردها بتعقيد منته فقط، ولا يمكنها أن تعبّر عن الغنى الكلّي لعالم الحقيقة الرياضياتية بأكمله.

لا تعني هذه النتيجة أن البراهين ليست شيئا جيدا. وبالطبع، فأنا لست مناهضًا لإعمال العقل. فمجرد كون بعض الأشياء غير قابلة للاختزال، لا يعني أنه يتعين علينا التوقف عن إعمال العقل. لقد كانت المبادئ غير القابلة للاختزال ـ المسلّمات ـ دائما جزءا من الرياضيات. وما تبيّنه أوميگا أنه يوجد من مثل هذه المبادئ قدر أكبر بكثير مما كان يُعتقد.

لذا ربما كان يتعين على الرياضياتيين ألاّ يحاولوا إثبات كل شيء. وأحيانا، يجب عليهم إضافة مسلّمات جديدة، وهذا ما ينبغي عليك عمله إذا ووجهتَ بحقائق غير قابلة للاختزال. وتكمن المشكلة هنا في التوثق من أنها غير قابلة للاختزال! وإلى حد ما، فإن القول بأن شيئا ما غير قابل للاختزال يعني التوقف عن معالجته والقول بأن من المستحيل البرهان عليه. لكن علماء

(*) Why Is Omega Incompressible



تمثل أوميكا جزءا من الرياضيات يصعب فهمه إلى حد ما. إن برنامجا حاسوبيا منتهيا يسمح بإظهار عدد منته فقط من أرقام أوميكا، أما الأرقام المتبقية فتظل مبهمة.

الرياضيات لا يفعلون ذلك البتة، وهم في ذلك يختلفون اختلافا جذريا مع زملائهم من الفيزيائيين، الذين يسعدهم أن يكونوا ذرائعيين (براگماتيين)، وأن يستعملوا محاكمة منطقية مقبولة بدلا من تقديم برهان صارم ودقيق. ويَحْذُو الفيزيائيين رغبة في إضافة مبادئ جديدة - قوانين علمية جديدة - لفهم حقول تجريبية جديدة. وهذا يجعلني أطرح ما أظنه سؤالا مثيرا جدا للاهتمام هو: هل الرياضيات مثل الفيزياء؟

الرياضيات والفيزياء(*)

وجهة النظر التقليدية السائدة هي أن الرياضيات والفيزياء علمان مختلفان تماما. فالفيزياء تقدم وصفا للعالَم، وتعتمد على التجربة والملاحظة. والقوانين الخاصة التي تحكم العالَم - سواء أكانت قوانين نيوتن في الحركة أم النموذج المعياري(1) في فيزياء الجسيمات - يجب تعيينها تجريبيا، ثم وضعها بوصفها مسلّمات لا يمكن البرهان عليها منطقيا، إذ يكفي التحقق منها بالتجربة.

وفي المقابل، فإن الرياضيات مستقلة إلى حد ما عن العالم. فنتائجها ومبرهناتها، كتلك التي تحدد خاصيات الأعداد الصحيحة والأعداد الحقيقية، لاتعتمد بأي حال من الأحوال على الطبيعة الخاصة للواقع الذي نعيشه. فالحقائق الرياضياتية صحيحة في أي عالَم.

ومع ذلك، ثمة تشابه بين الفيزياء والرياضيات. ففي الفيزياء، بل وفي العلوم عامة، يضغط العلماءُ ملاحظاتهمُ التجريبيةَ في قوانينَ علمية. وبعد ذلك، يبيّنون كيف أن هذه الملاحظات يمكن استنتاجها من هذه القوانين. وفي الرياضيات أيضا يحدث شيء من هذا القبيل - إذ يضغط علماءُ الرياضيات تجاربَهم الحسابيةَ في مسلّمات رياضياتية، ثم يبيّنون كيف يمكن استنتاجُ المبرهناتِ من هذه المسلّمات.

ولو كان «هلبرت» على حق، لكانت الرياضيات نظاما مغلقا لا متّسع فيه لأفكار جديدة، أي لكان ثمة نظرية سكونية مغلقة لكل شيء وللرياضيات جميعها. ولكان هذا أشبه بالدكتاتورية. بيد أنه إذا كان للرياضيات أن تتقدم، فنحن بحاجة في الحقيقة إلى أفكار جديدة ومجال واسع للإبداع. ولا يكفي في ذلك أن نستخرج آليا جميع النتائج الممكنة لعدد مثبت من المبادئ الأساسية. فأنا أفضّل أكثر وجودَ نظام مفتوح، ولا أحبّ طرائقَ التفكير المتسلطة(2).

ثمة شخص آخر ظن أن الرياضيات مثل الفيزياء، هو «I. لاكاتوس» الذي غادر المجر عام 1956 وعمل في وقت لاحق بإنكلترا في مجال فلسفة العلم. وهناك جاء «لاكاتوس» بمصطلح عظيم أسماه «شبه تجريبي»(3)، وهو يعني أنه على الرغم من عدم وجود تجاربَ حقيقية يمكن إجراؤها في الرياضيات، فهناك شيء ما شبيهٌ بذلك يحدث في هذا العلم. فمثلا، تنصّ **مخمّنة گولدباخ** Goldbach conjecture على أن من الممكن التعبير عن أي عدد زوجي أكبر من 2 بمجموع عددين أوّليّيْن. وقد جرى التوصل إلى هذه المخمنة تجريبيا وذلك بالتحقق من أنها صحيحة لكل عدد زوجي يخطر بالبال. وهذه المخمنة لم تثبت صحتها حتى الآن، لكن جرى التثبّت من صحتها حتى العدد 10^{14}.

وأظن أن الرياضيات شبه تجريبية. وبكلمات أخرى، أشعر بأن الرياضيات مختلفة عن الفيزياء (التي هي علم تجريبي تماما)، لكن هذا الاختلاف قد لا يكون بالقدر الذي يظنه معظم الناس.

لقد عشتُ في عالَمي الرياضيات والفيزياء كليهما، ولم أظن في أيّ وقت وجودَ اختلاف واسع بين هذين الميدانين. والاختلاف يكمن في الدرجة وفي التوكيد، لكنه ليس اختلافا مطلقا. وعلى الرغم من كل ما يقال، فقد تطورت الرياضيات والفيزياء معا، ويجب على العاملين في الرياضيات ألاّ يعزلوا أنفسهم عن الآخرين، وألاّ ينْأوا بأنفسهم عن المناهل الغنية للأفكار الجديدة.

مسلّمات رياضياتية جديدة(**)

إن فكرة إضافة مزيد من المسلمات ليست فكرة غريبة على علم الرياضيات. وثمة مثال مشهور على ذلك هو مسلّمة التوازي في الهندسة الإقليدية التي تنص على أنه إذا كانت نقطة غيرُ واقعة على خط مستقيم، فيوجد

(*) Mathematics and Physics
(**) New Mathematical Axioms
(1) Standard Model
(2) authoritarian
(3) quasi - empirica

مستقيم واحد فقط يمرّ بالنقطة ولا يقطع بتاتا المستقيمَ الأصليَّ. لقد أمضى علماء الهندسة قرونا وهم يفكرون فيما إذا كان من الممكن البرهان على تلك النتيجة باستعمال بقية مسلمات إقليدس، لكنهم لم ينجحوا في ذلك. وأخيرا، أدرك الرياضياتيون أن بمقدورهم إحلالَ مسلّمات مختلفة محلَّ المسلّمة الإقليديّة، وهذا أسفر عن استحداثِ **الهندسات اللاإقليدية** non-Euclidean gemoetry للفضاءات المنحنية، مثل سطح الكرة أو سطح سرج الفرس.

وثمة أمثلة أخرى هي قانون المنتصف المستثنى[1] في المنطق ومسلّمة الاختيار[2] في نظرية المجموعات. ويَسْتَعِدُّ معظم الرياضياتيين بالإفادة من تلك المسلّمات في براهينهم، على حين لا يحبذ آخرون ذلك، مفضّلين ما يسمى المنطق الحدسي[3] أو الرياضيات الإنشائية[4]. فالرياضيات ليست بنية ذات كيان واحد منفرد لحقيقة مطلقة.

وثمة مسلمة أخرى مثيرة جداً للاهتمام هي المخمّنة «P لا يساوي NP»، حيث P و NP اسمان لصنفين من المسائل. فالمسألة التي تنتمي إلى الصنف NP تتصف بأنه عندما يُقْتَرَحُ حلٌّ لها، فمن الممكن التحقق من صحته بسرعة. فمثلا، إذا أخذنا المسألة التالية «أوجد عوامل العدد 8633»، فمن الممكن التحقق بسرعة من صحّة الحل المقترح وهو «97، 89»، وذلك بضرب هذين العددين. (ثمة تعريف تقني لكلمة «بسرعة»، لكن تفصيلاته غير مهمة هنا.) أما المسألة التي تنتمي إلى الصنف P، فهي مسألة يمكن حلّها بسرعة حتى في حال عدم تقديم حل لها. والسؤال هو ـ ولا أحد يعرف جوابه ـ هل كل مسألة من الصنف NP يمكن أن تحل بسرعة؟ (أي هل توجد طريقة سريعة لإيجاد عاملي 8633؟) وبعبارة أخرى، هل الصنف P هو نفس الصنف NP؟ هذه إحدى المسائل التي تنتمي إلى قائمة المسائل[5] التي تُقَدِّمُ جائزةً قدرها مليون دولار إلى كلِّ من يحلُّ إحداها.

وعلى نطاق واسع، يعتقد علماء الحاسوب بأن P لا يساوي NP، لكن لم يُقَدَّمْ حتى الآن برهان على ذلك. وقد يقول قائل إن ثمة عددا كبيرا من الأدلة شبه التجريبية يشير إلى أن P لا يساوي NP. إذًا، هل يجب اعتماد الدعوى «P لا يساوي NP» بوصفها مسلّمة؟ الواقع أن هذا ما فعله العاملون في علم الحاسوب. وثمة علاقة وثيقة بهذا الموضوع تتجلى في أمْن أنظمة تعمية[6] معينة تُسْتَعْمَلُ في جميع أنحاء العالم. ومن المعتقد أن تكون هذه الأنظمة منيعة على الاختراق، لكنْ ما من أحد يستطيع إثبات ذلك.

الرياضيات التجريبية(*)

ثمة مجال آخر للتشابه بين الرياضيات والفيزياء، ألا وهو الرياضيات التجريبية، ونعني بها اكتشافَ نتائجَ رياضياتية جديدة عن طريق النظر إلى كثير من الأمثلة باستعمال حاسوب أو غير ذلك. ومع أن إقناع هذه الطريقة لا يرقى إلى درجة إقناع برهان قصير، إلاّ أنها يمكن أن تكون أكثر إقناعا من برهان بالغ التعقيد والطول، ثم إنها كافية تماما في تحقيق بعض الأغراض.

في الماضي، كان يجري بحماس شديد دفاع عن هذه الطريقة من قِبَل كلٍّ من <G. پوليا> و<لاكاتوس>، وهما من المؤمنين بالتعليم الذي يجعل الطلبة يتوصلون إلى معرفة الأشياء بأنفسهم، وبالطبيعة شبه التجريبية للرياضيات. وقد مارس هذا النهجَ وسوّغه أيضا <S. ولفرام> في كتابه بعنوان A New Kind of Science، الذي ألفه عام 2002.

قد تكون العمليات الحاسوبية المطوّلة مقنعة جدا، لكنها هل تجعل البرهان شيئًا غير ضروري؟ الجواب نعم و لا. وفي الحقيقة، فإنها توفر نوعًا مختلفًا من البيّنات. وفي الحالات المهمة، فإني أحاجُّ في أن هذين النوعين من البيّنات كليهما مطلوبان، لأن البراهين قد تكون خاطئة. وبالعكس، فقد تصاب الأبحاث الحاسوبية بحظّ سيئ، إذ تتوقف مباشرةً قبل مقابلة مثال معاكس يثبت بطلان النتيجة المخمّنة.

هذه المواضيع جميعها مثيرة للفضول، لكنها مازالت مستعصية على الحل. وفي هذا العام (2006)، الذي يوافق مرور 50 عاما على نشر مجلة *ساينتفيك أمريكان* مقالة عن برهان كوديل، **فمازلنا لا نعرف ما لعدم التمام** incompleteness من أهمية بالغة. نحن لا نعرف ما إذا كان عدم التمام ينبئنا بأن الرياضيات يجب أن تُمارَس بطريقة مختلفة إلى حدٍّ ما. وربما يتسنّى لنا معرفةُ الجواب بعد خمسين سنة أخرى. ■

(*) Experimental Mathematics
(1) excluded middle
(2) axiom of choice
(3) intuitionist logic
(4) constructive mathematics
(5) Turing's famous halting problem
(6) cryptographic systems

المؤلف

Gregory Chaitin

باحث في مركز بحوث <T. J. واطسون> التابع للشركة IBM. وهو، أيضا، أستاذ فخري في جامعة بوينس آيرس، وأستاذ زائر في جامعة أوكلند. وقد أسس مع <A. N. كُلْماكوروف> نظرية المعلومات الخوارزمية. وتشمل كتبه التسعة البحثيّ غير التّخصّصيّين محادثات مع رياضياتيّ Conversations with a Mathematician **والرياضيات المترفّعة!** Meta Math! *المنشورين في عامي 2002 و 2005 على التوالي.*

مراجع للاستزادة

For a chapter on Leibniz, see **Men of Mathematics**. E. T. Bell. Reissue. Touchstone, 1986.

For more on a quasi-empirical view of math, see **New Directions in the Philosophy of Mathematics**. Edited by Thomas Tymoczko. Princeton University Press, 1998.

Gödel's Proof. Revised edition. E. Nagel, J. R. Newman and D. R. Hofstadter. New York University Press, 2002.

Mathematics by Experiment: Plausible Reasoning in the 21st Century. J. Borwein and D. Bailey. A. K. Peters, 2004.

For Gödel as a philosopher and the Gödel-Leibniz connection, see **Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel**. Rebecca Goldstein. W. W. Norton, 2005.

Meta Math!: The Quest for Omega. Gregory Chaitin. Pantheon Books, 2005.

Short biographies of mathematicians can be found at
www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/BiogIndex.html

Gregory Chaitin's home page is **www.umcs.maine.edu/~chaitin/**

Majallat AlOloom

المجلد 22 ـ العددان 4/3
مارس/إبريل 2006

مجلة العلوم

العصر المنسيُّ للشيپات الدماغية(*)

تمرُّ اليوم أعمال ‹خوزيه دلگادو›(1)، وهو نجم رائد في أبحاث تنبيه الدماغ منذ أربعة عقود، من دون اعتراف يُذكر. ماذا حدث؟

‹ل. هوركان›

في أوائل سبعينات القرن العشرين كان ‹خوزيه دلگادو› [أستاذ الفيزيولوجيا في جامعة ييل] أحد أكثر علماء الأعصاب استحسانا وإثارة للجدل في آن معا. ففي عام 1970 حيته مجلة نيويورك تايمز في مقالة افتتاحية باعتباره «رسولا متقدا لمجتمع متحضر نفساني جديد سيتحكم أعضاؤه في وظائفهم الفكرية ويغيرونها.» وأضافت المقالة: مع ذلك، إن بعض زملاء ‹دلگادو› [في جامعة ييل] رأوا في عمله «إمكانات مخيفة».

وفي نهاية الأمر، كان ‹دلگادو› أول من طور أكثر تلك التقانات إبهاما والممثلة في الشيپة الدماغية brain chip، وهي أداة إلكترونية تستطيع أن تنابل manipulate العقل عن طريق استقبال إشارات من عصبونات ونقلها إلى عصبونات أخرى وتستخدم حاليا شيپات دماغية لسلسلة لونك ومكّگوفين(2) في الخيال العلمي (بدءا من The Terminal Man حتى The Matrix)، أو يجري اختبارها، في معالجة الصرع ومرض پاركنسون والشلل والعمى واعتلالات أخرى. لقد أجرى ‹دلگادو› منذ عقود تجارب كانت أكثر إثارة في بعض النواحي من أي شيء يتم عمله اليوم: إذ اغترس صفيفات إلكترودية مجهّزة راديويا radio-equipped electrode arrays دعاها باسم «ستيموسيڤرات» stimoceivers داخل قطط ونسانيس وشمپانزات وجيبونات وثيران (وحتى بشر)، وأظهر أنه يستطيع التحكم في عقول المفحوصين وأبدانهم بكبسة زر.

ولكن بعد أن انتقل ‹دلگادو› إلى أسبانيا في عام 1974 أفلت سمعته في الولايات المتحدة، ليس من الذاكرة العامة فحسب، بل حتى من العقول والاستشهادات العلمية الأخرى. صحيح إنه شرح نتائجه في أكثر من 500 ورقة معتمدة المرجعية وفي كتاب نقدي واسع لعام 1969، ولكن كل ذلك نادرا ما يذكره الباحثون المعاصرون. وفي الحقيقة فإن العارفين بعمله المبكر يظنون أنه مات. بيد أن ‹دلگادو› الذي انتقل حديثًا مع زوجته ‹كارولين› من أسبانيا إلى سانديكو مفعم بالحيوية والصحة، ولديه منظور متميز حول جهود عصرية لمعالجة اعتلالات متنوعة عن طريق تنبيه مناطق نوعية من الدماغ.

في أثناء فورة بضع الفصوص(***)

ذهب ‹دلگادو› [المولود في روندا بأسبانيا في عام 1915] لنيل شهادة الطب من جامعة مدريد في الثلاثينات من القرن العشرين. ورغم ما وصمته به الإشاعات من دعمه للنظام الفاشستي لحكم ‹فرانكو›، فإنه خدم فعليا في السلك الطبي للجيش الجمهوري (الذي كان يعارض ‹فرانكو› أثناء الحرب الأهلية الأسبانية) يوم كان طالبا في كلية الطب. وبعد أن سحق ‹فرانكو› الجمهوريين احتُجز ‹دلگادو› في معكسر تجميع لمدة خمسة أشهر قبل أن يستأنف دراسته ثانية.

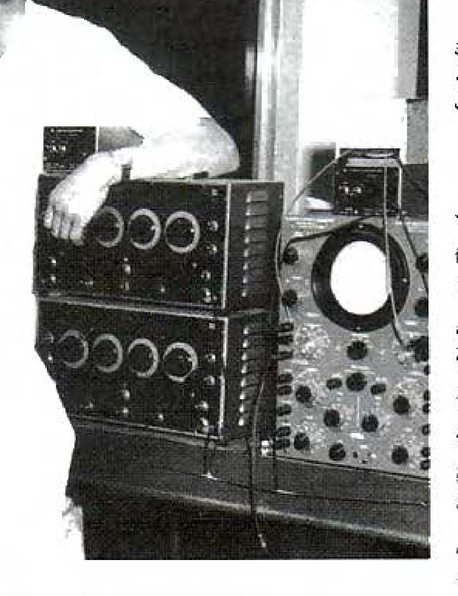
لقد قصد في الأصل أن يصبح طبيب عيون على غرار والده، ولكن الشح في مختبر للفيزيولوجيا، إضافة إلى اطلاعه على كتابات عالم الأعصاب الأسباني العظيم ‹S .R. كاجال›، جعلاه يفتتن «بالأسرار العديدة للدماغ»، وما أقل ما كان معروفا عن ذلك يومها، بل ما أقل ما هو معروف الآن في هذا الصدد. ولقد فتنته تجارب الفيزيولوجي السويسري ‹R .W. هس› الذي بين في العشرينات من القرن العشرين أنه يستطيع بعث سلوكيات (مثل الغضب والجوع والنعاس) لدى القطط عن طريق تنبيه نقاط مختلفة من أدمغتها كهربائيا بوساطة أسلاك.

وفي عام 1946 حظي ‹دلگادو› بمنحة زمالة لمدة عام في جامعة ييل، كما قبل في قسم الفيزيولوجيا لهذه الجامعة يوم كان ‹ل. فولتون› رئيسًا له. ويشار إلى أن هذ

نظرة إجمالية / غرائس الدماغ(**)

- ربما يكون ‹ل. M. R. دلكادو› [وهو رائد في تقانة الاغتراس الدماغي] قد أبهر الناس لصده ثورا هائجا بمجرد كبسة زر في أداة ترسل إشارات إلى دماغ الحيوان.
- في أوائل سبعينات القرن العشرين تحول ‹دلكادو› من محط استحسان إلى محط انتقاد.
- ولكن إنجازاته أعانت على تمهيد الطريق إلى تقانة الاغتراس الدماغي المعاصرة، التي أخذت بالانتعاش هذه الأيام والتي تحسّن حياة مرضى بالصرع واضطرابات حركية أخرى، مثل داء پاركنسون وخلل التوتر dystonie.
- حديثا عاد ‹دلكادو›، الذي يبلغ حاليا التسعين من عمره، إلى الولايات المتحدة، بعد أن غادرها إلى إسبانيا عام 1974، حاملا آراء قوية حول بشائر ونذر الاستمرار في أبحاث الاغتراس الدماغي.

(*) THE FORGOTTEN ERA OF BRAIN CHIPS
(**) Overview / Brain Implants
(***) When Lobotomies Were the Rage
(1) Jose Delgado
(2) Long the McGuffins of science fiction



ساعدت ‹كارولين دلگادو› (التي تظهر في الصورة وهي ترصد قراءات تخطيطية دماغية لأحد النسانيس) زوجها منذ اجتماعهما في جامعة ييل في الخمسينات من القرن العشرين.

الأخير أدى دورا حاسما في تاريخ الطب النفساني، إذ ذكر في محاضرة له في عام 1935 ألقاها في لندن أن حيوانا **عُصابيا** neurotic عنيفا من الشمبانزي يدعى بيكي غدا هادئا وطيِّعا بعد أن أجريت له عملية تخريب جراحية للفصين الجبهيين من دماغه، وكان من بين المستمعين للمحاضرة الطبيب النفساني البرتغالي ‹A. مونيز› الذي شرع يجري **عمليات بضع فصوص دماغية** lobotomies على مرضى عصابيين، وادعى إحرازه نتائج ممتازة. وبعد أن نال ‹مونيز› جائزة نوبل في عام 1949 أصبحت عمليات بضع الفصوص معالجات مألوفة بشكل متزايد في الاعتلالات العقلية.

ومما أزعج ‹فولتون› بداية أن طريقته في تهدئة الشمبانزي قد طبقت على البشر، ولكنه لاحقا أصبح مناصرا حذرا **للجراحة النفسية** psychosurgery. أما ‹دلگادو› فلم يتفق مع موقف ناصحيه، ويستذكر في هذا الصدد قائلا: «أعتقد أن فكرة ‹فولتون› و‹مونيز› في التخريب الدماغي كانت رهيبة.» لقد شعر أن الأمر سيكون أكثر محافظة إلى حد بعيد عبر معالجة الاعتلالات العقلية بتطبيق طرائق التنبيه الكهربائي التي أوجدها ‹هس› الذي شارك ‹مونيز› جائزة نوبل عام 1949. ويقول دلگادو: «لقد كانت فكرتي تفادي بَضْع الفصوص، وذلك باللجوء إلى اغتراس إلكترودات في الدماغ.»

لقد كان أحد مفاتيح نجاح ‹دلگادو› العلمي مهارته في الابتكار، وقد أسماه زميل له في جامعة ييل ذات يوم «ساحرا تقانيا». ففي تجاربه الأولى انطلقت أسلاك من إلكترودات مغترسة عبر عظم الجمجمة والجلد إلى أجهزة إلكترونية كبيرة الحجم تسجل البيانات والنبضات الكهربائية المنبعثة. وكانت هذه التركيبة تقيد حركات المفحوصين وتتركهم عرضة للعداوى (للأخماج). ولذلك صمم ‹دلگادو› ستيموسيڤراته المجهزة راديويا بحجم نصف الدولار، بحيث يمكن غرسها كليا في أدمغة المفحوصين.

أدوات تنبيه الدماغ الكهربائية التي ابتكرها ‹J. دلگادو› في أبحاثه حول السلوك والتحكم الحركي، جرى اغتراسها في القرود والنسانيس والثيران والقطط والبشر. ويمكن أن تبقى الإلكترودات مغروسة لمدة تزيد على السنتين.



رفعت القطة رجلها الخلفية استجابة للتنبيه بوساطة إلكترود مغترس في دماغها، ويقول «دلكادو» إن القطة لم تبد عدم ارتياح في هذه التجربة، التي جرت في أوائل خمسينات القرن العشرين.

ترويض ثور هائج(*)

أظهر «دلكادو» أن تنبيه قشرة المخ المحركة يستطيع إثارة ردود فعل بدنية نوعية، مثل حركة الأطراف؛ إذ صرّ أحد المرضى قبضته عندما تنبه، حتى حين حاول مقاومة ذلك. فقد علّق المريض قائلا: «أظن، يا دكتور، أن كهربائك هذه أقوى من إرادتي.» وثمة مفحوص آخر، وهو يدير رأسه من جانب إلى آخر، قال بأنه يفعل ذلك إراديا، معللا فعله بقوله: «إنني أبحث عن خُفّي.»

هذا وقد استطاع «دلكادو»، عبر تنبيهه مناطق مختلفة من **الجهاز الحوفي** limibic system الذي ينظّم الانفعالات، أن يبعث الخوف والغيظ والشهوة الجنسية والمرح والثرثرة وردود أفعال أخرى، كان بعضها صارخا في شدته. ففي إحدى التجارب، نبه «دلكادو» واثنان من زملائه [من جامعة هارفارد] **الفص الصدغي** temporal lobe لامرأة مصابة بالصرع عمرها 21 عاما، فيما كانت هادئة تعزف على الجيتار، فإذا بها تستشيط غيظا وتهشم جيتارها على الحائط كيفما اتفق.

ولعل أكثر النتائج التزاما من الناحية الطبية قد تمثل في كون تنبيه منطقة من الجهاز الحوفي تدعى **الحاجز** septum قد

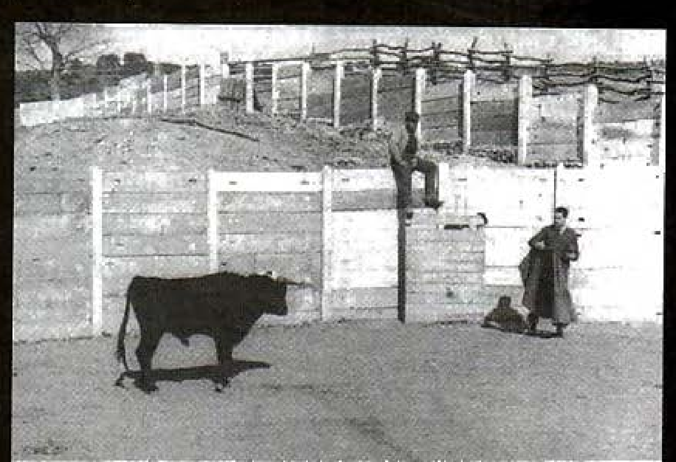
(*) Taming a Fighting Bull

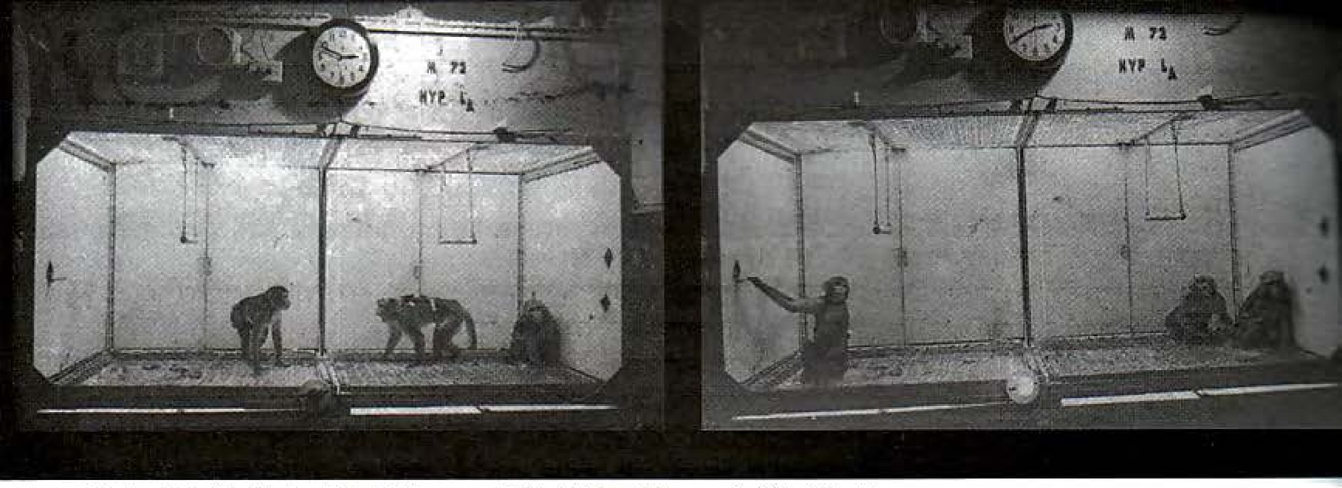
كما تضمنت مداخلاته الأخرى نسخة مبكرة **لناظمة قلبية** cardiac pacemaker و**كيمترودات** chemitrodes تستطيع إطلاق كميات مضبوطة من العقاقير داخل مناطق نوعية من الدماغ بشكل مباشر.

وفي عام 1952 شارك «دلكادو» في كتابة أول نشرة علمية معتمدة المرجعية تشرح الاغتراس الطويل الأمد للإلكترودات في البشر، وبالتحديد في تقرير أعده <R. هيث> [من جامعة تولان]؛ ثم على مدى العقدين التاليين قام «دلكادو» باغتراس إلكترودات في نحو 25 مفحوصا من البشر، كان معظمهم من المصابين بالفصام والصرع، وذلك في مستشفى عقلي مهجور حاليا في رودآيلاند. فهو يقول إنه لم يجر هذه العمليات إلا لمرضى ميؤوس منهم، استعصت علتهم على جميع المعالجات السابقة. وفي المراحل المبكرة لغرس إلكتروداته في البشر كان يقوم بالتجريب على الحيوانات ويجري دراسات على ذوي الأدمغة المتضررة ويواكب أعمال الجراح الكندي <W. بنفيلد> الذي شرع في الثلاثينات من القرن العشرين في تنبيه أدمغة المصابين بالصرع بوساطة إلكترودات وذلك قبل الجراحة، بغية تقرير ما إذا كان عليه أن يلجأ إلى الجراحة.

تظهر الصورة ثورا يحمل في دماغه «ستيموسيفر» (في الأسفل) وهو يهاجم «دلكادو» في حلبة مصارعة الثيران في أسبانيا في عام 1963 (*الصورتان اللتان في الوسط*)، ثم توقف الثور واستدار استجابة لإشارة راديو أصدرها «دلكادو» (*أقصى اليسار*). وقد جادل النقاد بأن التنبيه لم يقمع الغريزة العدوانية للثور حسبما أوحى «دلكادو»، بل أجبره على الاستدارة نحو اليسار. ويعترف «دلكادو» الذي كبر في روندا بأسبانيا، التي تعد معقلا لمصارعة الثيران، أنه شعر بالخوف قبل أن تجعل إشارتُه الثورَ يعزف عن النزال.





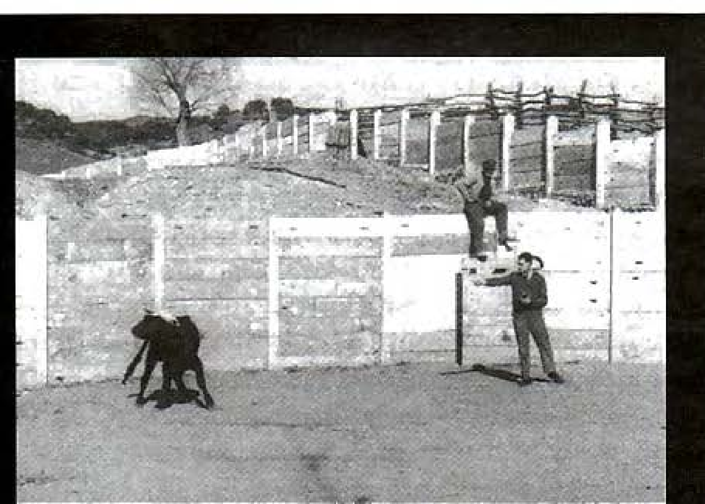


تعلمت أنثى المكاك (أقصى يسار *الصورة الأولى*) أنها عبر سحب رافعة في القفص، تستطيع النجاة من مواجهة أحد الذكور، إذ كانت الرافعة ترسل إشارة إلى ستيموسيفر مغروس في دماغه مسببة تهدئته. وفي *أقصى يمين الصورة اليمنى* يظهر الذكر هادئا، في حين أصبح عدائيا في اللقطة الأخرى. ونشير إلى أن «دلكادو» أجرى عدة أبحاث كهذه في أوائل الستينات من القرن العشرين حول تأثيرات التنبيه الدماغي في التأثرات الاجتماعية.

تسبب في بعث حالة انشراح قوية كانت كافية في بعض الحالات لمجابهة الاكتئاب وحتى الألم البطني. بيد أن «دلكادو» حد من تجاربه على البشر، لأن الفوائد العلاجية **للغريسات** implants كانت غير موثوقة، إذ اختلفت النتائج بشكل واسع من مريض إلى آخر، وقد لا تكون قابلة للتنبؤ بها حتى لدى المريض نفسه. وفي الحقيقة، يستذكر «دلكادو» صده لعدد من المرضى يفوق العدد الذي قبل معالجته، بما في ذلك امرأة شابة كانت مشوشة جنسيا ونزاعة للعنف، بحيث دخلت السجون والمصحات العقلية مرارا. ومع أن تلك المرأة ووالديها توسلوا إليه أن يغرس إلكترودات في دماغها فقد رفض شاعرا أن التنبيه الكهربائي كان أكثر بدائية من أن يصلح لحالة لا تتضمن مرضا عصبيا موضوعيا.

لقد أجرى «دلكادو» أبحاثا مستفيضة على النسانيس وحيوانات أخرى، وكان غالبا ما يركز على المناطق العصبية التي تثير العدوان أو تثبطه. وفي أحد تبياناته التي كانت تستكشف مفاعيل التنبيه على **التراتبية الاجتماعية** social hierarchy عمد إلى غرس ستيموسيفر في نسناس متزعم؛ ثم ركّب رافعة في القفص، بحيث تُهدئ ذلك الزعيم كلما ضُغطت، وذلك عبر قيام الستيموسيفر بتنبيه **النواة المذنّبة** coudate nucleus عند ذلك النسناس. ونشير هنا إلى أن النواة المذنّبة هي منطقة دماغية تضطلع بالتحكم في الحركات الإرادية. وسرعان ما اكتشفت إحدى الإناث في القفص قوة تلك الرافعة فغدت تضغطها كلما هددها ذلك الذكر. وقد كتب «دلكادو» الذي لم يكن يخجل قط من إدلائه بتأويلات تشبيهية قائلا: «إن الحلم القديم بشخص يفوق جبروته طاغية ما، وذلك بالتحكم من بعد، قد تحقق على الأقل في مستعمراتنا النسناسية.»

أما أشهر تجربة أجراها «دلكادو» فقد كانت في مزرعة لتربية الثيران بمدينة قرطبة في إسبانيا خلال عام 1963. فبعد إدخاله ستيموسيفرات في أدمغة بضعة ثيران، وقف في الحلبة مع أحد هذه الثيران جنبا إلى جنب، وبكبس أزرار جهاز إرسال في يده، تحكم في كل فعل من أفعال هذا الثور. وفي أحد الأمثلة التي تم التقاط صورة لها، أجبر «دلكادو» ثورا مهاجما على التوقف على بعد أمتار قليلة منه، وذلك عن طريق تنبيهه النواة المذنبة للثور. ويذكر أن مجلة نيويورك تايمز نشرت مقالة افتتاحية عن ذلك الحدث واصفة إياه بأنه «البيان الأكثر إثارة حول التحوير





الغرائس الدماغية في الوقت الحاضر[*]

قبل نحو نصف قرن، حين بدأ ‹خوزيه دلكادو› وقلة من العلماء الشجعان باستكشاف تأثير اغتراس إلكترودات في الدماغ، لم يستطيعوا تصور كم عدد الناس الذين سيستفيدون ذات يوم من هذا النهج من الأبحاث. إن أنجح شكل من الغرائس (أو البدلة العصبية neural prosthesis) إلى حد بعيد هو القوقعة الصنعية artifiail cochlea، إذ إن أكثر من سبعين ألف إنسان تجهز بهذه الأدوات التي تساعد على استعادة قدرة أولية على السمع، وذلك عن طريق إرسال إشارات من ميكروفون خارجي موجهة إلى العصب السمعي. ولقد تم اغتراس أجهزة تنبيه دماغية في أكثر من ثلاثين ألف إنسان يشكون من مرض باركنسون واضطرابات حركية أخرى (بما في ذلك المريضة ‹K. واينر› البالغة من العمر 17 عاما والتي تظهر *في اليسار*) وهناك ما يقرب من هذا العدد من المصابين بالصرع تتم معالجتهم بأدوات تُنبه **العصب المبهم** vagus في الرقبة.

هذا ويتقدم العمل على **بدلات** prosthesbs أخرى ببطء. وهناك تجارب سريرية تشق طريقها اليوم لاختبار تنبيه الدماغ والعصب المبهم لغرض معالجة أمراض عدة، مثل الاكتئاب وداء الوسواس القسري ونوبات الفزع والألم المزمن. كما جرى اختبار شيبات شبكيات حساسة للضوء صنعية تحاكي مقدرة العين على معالجة الإشارة وتنبيه العصب البصري أو القشرة المخية الإبصارية، وذلك على مجموعة صغيرة من الذين لا يستطيعون عادة رؤية ما هو أكثر من بقع لامعة[1].

وثمة مجموعات بحث حالية أظهرت أن التسانيس تستطيع التحكم في حواسيب وأذرع إنسالية (روبوتية)، عبر إلكترودات مغترسة تلتقط إشارات عصبية. ونشير هنا إلى أن احتمال إعطاء تقوية للمشلولين هو احتمال واضح، بيد أنه حتى الآن لم تجر إلا تجارب قليلة محدودة النجاح على البشر. أما الشيبات التي يمكن أن تعيد الذاكرة للمصابين بمرض الزايمر واضطرابات أخرى، فلاتزال بحاجة إلى سنة أو سنتين لاختبارها على الجرذان.

إن السوق المحتمل للبدلات العصبية هائل. فنحو عشرة ملايين أمريكي يصارعون اكتئابا رئيسيا، وأربعة ملايين ونصف مليون أمريكي يقاسون فقد الذاكرة بسبب مرض الزايمر، وأكثر من مليوني أمريكي أصيبوا بالشلل بسبب أذيات في النخاع الشوكي **وبالتصلب الوحشي الضموري العضلي** amyotrophic lateral sclerosis وبالسكتات الدماغية، وأكثر من مليون أمريكي هم في عداد العميان حكما.

كانت ‹K. واينر› مقعدة (*في اليمين*) لمدة تزيد على سبع سنوات بسبب داء خلل التوتر dystonia، وهو حالة تسبب تشنجات عضلية خارجة عن السيطرة. أما حاليا (*في اليسار*) فهي تمشي من دون مساعدة، وذلك بفضل إلكترودات (تغذيها بطارية) مغروسة في دماغها حينما كانت في الثالثة عشرة من عمرها، وكذلك بفضل الجراحتين اللتين أصلحتا بعد ذلك عضلاتها الملتوية وأطالتا أوتار عضلاتها.

المتعمد في سلوك الحيوان عبر التحكم في الدماغ من الخارج». وهناك مقالات أخرى هللت بما قام به ‹دلكادو› من تحويل وحش شرس إلى ترجمة حقيقية الحدوث لرواية ‹فرديناند الثور›[2] ذلك البطل الوديع لإحدى قصص الأطفال الشائعة.

ومن حيث الأهمية العلمية، يعتقد ‹دلكادو› أن تجربته التي أجراها على أنثى شمبانزي (سُميّت **پادي**) إنما تستحق اهتماما أكبر. فقد برمج ‹دلكادو› الستيموسيڤر الخاص بـ **پادي** لاكتشاف إشارات مميزة (تدعى **مغازل** spindles) تصدرها **اللوزة المخية** amygdala تلقائيا. ففي كل مرة يكتشف فيها الستيموسيڤر مغزلا ما فإنه ينبه المنطقة السنجابية المركزية لدماغ **پادي** مولدا «رد فعل اشمئزازيا»، على شكل إحساس مؤلم أو مستهجن. وبعد ساعتين من هذه التغذية السلبية الراجعة[3]، ولدت اللوزة المخية عددا من المغازل أقل عددا بنسبة 50 في المئة، وهبط تواترها بمقدار 99 في المئة في غضون ستة أيام. وقد كتب ‹دلكادو› أن «**پادي** أصبحت أكثر هدوءا وأقل اكتراثا واندفاعا خلال اختبار السلوك.» ولكنه مع ذلك استشرف أن هذا «التعلم التلقائي» يمكن أن يستخدم كتقنية لإخماد نوبات الصرع وسطوات الفزع وغيرها من الاعتلالات التي تتميز بإشارات دماغية نوعية.

لم تكن الوكالات المدنية هي الوحيدة التي دعمت أبحاث ‹دلكادو›، بل كذلك العسكرية، مثل مكتب أبحاث الأسطول (ولكن يصر ‹دلكادو› أنه لم يلق دعما البتة من وكالة الاستخبارات المركزية (CIA) حسبما اتهمته بعض جهات الدساتس). ويقول ‹دلكادو› الذي يصف نفسه معارضا للعنف، بأن مناصريه في البنتاكون رأوا في عمله بحثا أساسيا ولم يسوقوه إطلاقا باتجاه التطبيق العسكري. لقد كان ينبذ على الدوام فكرة كون الغرائس تستطيع تشكيل جنود خوارق يقتلون عند الطلب، على غرار السفاح المغسول الدماغ في الفيلم *The Manchurian Candidate* (حيث كانت تتحكم في السفاح طرائق نفسانية في النسخة الأصلية للفيلم الذي عرض عام 1962، ثم **شيبة دماغية** brain chip في التجديد المُحدث لهذا الفيلم في عام 2004). ويؤكد ‹دلكادو› أن التنبيه الدماغي يمكن أن «يزيد أو ينقص من السلوك ولكنه لا يستطيع توجيه السلوك العدواني نحو أي هدف نوعي محدد.»

تصوُّر «مجتمع متحضر نفسيا»[**]

في عام 1969 وصف ‹دلكادو› أبحاث التنبيه الدماغي وناقش تضميناته في مقالته ***التحكم البدني في العقل: نحو مجتمع متحضر نفسيا*** *Physical Control of the Mind: Toward a Psychocivilized society*.

(*) Brain Implants Today

(**) Envisioning a "Psychocivilized Society"

(1) phosphenes

(2) ferdinand the bull

(3) أو التلقيم السلبي المرتد negative feedback

وفي مقالة موضحة بصور لنسانيس وقطط وثور وصبيتين مريضتين أخفتا الستيموسيڤرات تحت غطاء رأسيهما (وهنا عقب «دلكادو» بأن المريضتين أبدتا طبعهما الأنثوي لذلك الظرف من خلال لبسهما قبعات جذابة أو شعر مستعار لإخفاء العمرة(p) الكهربائية على رأسيهما). وبشرحه تقييدات التنبيه الدماغي، يقلل «دلكادو» «الاحتمالات المضادة للعدالة الاجتماعية، التي يستعبد من خلالها علماء فاسدون بعض الناس عن طريق غرس الإلكترودات في أدمغتهم.

ومع ذلك فإن بعضا من نصوصه اتصفت بنغمة پروتستانتية تحذيرية. فقد أعلن أن التقانة العصبية على شفا «قهر الدماغ» وخلق «إنسان أفضل وأسعد وأقل قسوة». وفي مراجعة ظهرت في مجلة *ساينتفيك أمريكان* اعتبر الفيزيائي الراحل «F. مورسون» **التحكم البدني** physical control رصيدا جديدا عميق التفكير لتجارب التنبيه الكهربائي، ولكنه أضاف بأن تضميناته «مشؤومة على نحو ما.»

وفي عام 1970 حاقت بمنحى «دلكادو» فضيحة أطلقها «F. إيرڤن» و«R. مارك» [وهما باحثان في كلية طب هارڤارد]. كان «دلكادو» قد تعاون معهما فترة وجيزة. (ويشار إلى أن أحد تلامذة «إيرڤن»، واسمه «M. كريشتون»، ألَّف كتاب *The Terminal Man* الذي يعتبر الأكثر رواجا حول تجربة حيوية إلكترونية استُلهمت من بحث لكل من «إيرڤن» و«مارك» و«دلكادو»، ثم انحرفت وزاغت). ففي كتابهما بعنوان ***العنف والدماغ*** *Violence and the Brain* أوحى «إيرڤن» و«مارك» أن تنبيه الدماغ أو الجراحة النفسية يمكن أن يقمع النزوع للعنف لدى السود المشاغبين. وفي عام 1972 أثار «هيث» (وهو طبيب نفسي في طولان) مزيدا من التساؤلات حول أبحاث الاغتراس الدماغي حين ذكر أنه حاول تغيير المنحى الجنسي لذكر **مثلي الجنس** homosexual عن طريق تنبيه **المنطقة الحاجزية** septal region أثناء ممارسته الجماع مع إحدى بنات الهوى.

أما أعنف مناوئ للغرائس الدماغية فقد كان الطبيب النفسي «P. بريجين» الذي ركز اهتمامه في العقود الحالية على أخطار العقاقير الطبية النفسية. ففي شهادة موزعة في محفوظات الكونگرس لعام 1972 اتهم



صورة لـ«دلكادو» حاملا اثنتين من غرائسه الدماغية، وقد التقطت في الشهر 8/2005. لقد كتب ذات يوم أن **البشرية يجب أن تحول رسالتها من مقولة «اعرف نفسك» إلى مقولة «كوّن نفسك».**

«بريجين» كلا من «دلكادو» و«إيرڤن» و«مارك» و«هيث» مجتمعين، إضافة إلى مناصري عمليات بضع الفصوص المخية، بمحاولة خلق «مجتمع سيبضع فيه كل شخص يزوغ عن السنن المعتمدة.» وفي اقتباس مع التصرف من كتاب ***التحكم البدني*** *physical control* اختص «بريجين» من تلك المجموعة «دلكادو» واصفا إياه بأنه «المدافع الرئيسي عن الاستبدادية التقانية.» وفي عام 1973 تقدم «E. ڤالنشتاين» [وهو فيزيولوجي أعصاب من جامعة ميشكان في آن آربر] في كتابه ***التحكم الدماغي*** *Brain Control* بنقد علمي مفصل لأبحاث الاغتراس الدماغي التي يجريها «دلكادو» وآخرون، زاعما أن نتائج التنبيه كانت أقل دقة وأقل فائدة علاجية مما اعتاد أنصار تلك الأبحاث الإيحاء به (لقد ذكر «دلكادو» أنه في كتاباته الخاصة أشار إلى العديد من النقاط التي نوّه إليها «ڤالنشتاين»).

وفي هذه الأثناء بدأ بعض الناس يتهمون «دلكادو» بأنه اغترس سرا ستيموسيڤرات في أدمغتهم. وقد أقامت امرأة زعمت ذلك دعوى على «دلكادو» وجامعة ييل طالبت فيها بمبلغ مليون دولار، مع أنه لم يكن قد قابلها قط. وفي وسط هذه المعمعة طلب وزير الصحة الأسباني «V. بالاسي» إلى «دلكادو» أن يقدم العون في إقامة كلية طب جديدة لدى الجامعة Autonamous Univ في مدريد، فقبل «دلكادو» أن ينتقل هو وزوجه وطفلاه إلى أسبانيا في عام 1974. ويصر «دلكادو» على أنه لم يهرب من المهاترات التي أحاطت بأبحاثه، وإنما كان عرض الوزير أجود من أن يرفض. وقال: «لقد سألت: هل يمكنني أن أحظى بالتسهيلات التي حظيت بها في ييل؟ فأجابوني: لا، بل أفضل بكثير!».

وفي أسبانيا، حوّل «دلكادو» اهتمامه نحو الطرائق **غير الباضعة** noninvasic المؤثرة في الدماغ والتي أمل أن تكون أكثر قبولا من الناحية الطبية مقارنة بالغرائس. وفي تطلعه إلى تقنيات جديدة، مثل التنبيه المغنطيسي **عبر القحف** transcranial، ابتكر أداة تشبه الهالة وخوذة تستطيع إيصال نبضات كهرمغنطيسية إلى مناطق عصبية نوعية. ولدى اختبار هذه الأدوات الرهيفة على متطوعين من الحيوانات والبشر كليهما (بما في ذلك «دلكادو» نفسه وابنته «ليندا»)، اكتشف «دلكادو» أنه يستطيع أن يبعث النعاس واليقظة وحالات أخرى فيهم. كما نجح في معالجة الارتعاشات لدى مرضى داء باركنسون.

ومازال «دلكادو» غير قادر تماما على تفادي الجدل حول أبحاثه. ففي أواسط الثمانينات من القرن العشرين استشهدت مقالة في مجلة *Omni* وبعض البرامج الوثائقية للمحطتين الإخباريتين BBC و CNN بأعمال «دلكادو» كدلالة ظرفية على كون الولايات المتحدة والاتحاد السوڤييتي سابقا قد طورا بشكل سري طرائق للتحكم عن بعد في أفكار الناس. وبملاحظته أن قدرة النبضات الكهرمغنطيسية ودقتها تنخفضان بسرعة كلما زادت المسافة، ينفي «دلكادو» مزاعم التحكم العقلي هذه معتبرا إياها من

(p) headgear

التتمة في الصفحة 43

دماغ الأم(*)

إن الحمل والأمومة يغيران بنية دماغ أنثى الثدييات، مما يجعل الأمهات أكثر اهتماما بصغارهن وأحسن رعاية لهم.

<H.C. كنسلي> ـ <G.K. لامبرت>

إن الأمهات يُصنعن ولا يولدن أمهات. وفي واقع الأمر، فإن إناث الثدييات كافة، بدءا من الجرذان والنسانيس إلى البشر، يعانين تغيرات وظيفية سلوكية في أثناء الحمل والأمومة. فالأنثى التي كانت ذات يوم كائنا موجَّها إلى ذاته بقدر كبير ومكرِّسا نفسه لاحتياجاته وبُقْياه survival، تصبح كائنا محور اهتمامه رعاية أولاده ورفاههم. ومع أن العلماء لاحظوا هذا التحول منذ زمن طويل ودهشوا له، فإنهم لم يبدؤوا إلا قريبا بفهم مسبباته. فقد أظهرت الأبحاث الجديدة أن التموّجات الهرمونية المثيرة التي تحدث أثناء الحمل والولادة والإرضاع يمكن أن تعيد نمذجة دماغ الأنثى، بحيث تزيد حجم العصبونات في بعض مناطقه وتحدث تغيرات بنيوية في مناطق أخرى منه.

إن بعض هذه المناطق يضطلع بتنظيم سلوكيات أمومية maternal، من مثل بناء الأوكار والعناية بالصغار وحمايتهم من الضواري؛ في حين تضطلع مناطق أخرى بضبط الذاكرة والتعلم والاستجابات تجاه الخوف والكرب. وقد أظهرت تجارب حديثة أن الجرذات الأمهات يَفُقْنَ الجرذات العذارى في اجتياز المتاهات واصطياد الفرائس. كما يمكن أن تفضي التغيرات الدماغية التي تسببها الهرمونات، إضافة إلى حثِّها الإناث على رعاية نسلها، إلى تحسين قدرة الجرذة الأم على جمع العلف والغذاء، الأمر الذي يمنح جِراءها her pups فرصة أفضل للبقاء أحياء. وأكثر من هذا، يبدو أن الفوائد المعرفية المكتسبة تصير أكثر ديمومة عند الجرذة الأم، إذ تبقى هذه الفوائد حتى تصل الجرذة الأم مرحلة متقدمة من العمر.

ومع أن دراسات هذه الظاهرة قد ركزت حتى الآن على القوارض، فمن المحتمل أن إناث البشر يجنين كذلك فوائد عقلية طويلة الأمد من الأمومة. فمعظم الثدييات يتشارك سلوكيات أمومية متشابهة، ربما تتحكم فيها مناطق دماغية متماثلة لدى البشر والجرذان سواء بسواء. وفي الحقيقة، اقترح بعض الباحثين أن يكون تنامي السلوك الأمومي قد شكل واحدا من المحركات والدوافع الرئيسية لتطور دماغ الثدييات. ففي زمن نشوء الثدييات من أسلافها الزواحف تحولت استراتيجية تناسلها من ظاهرة «اقذف البيوض واهرب»(1) إلى ظاهرة «دافع عن الوكر»(2). ويمكن أن تكون الفوائد الانتقائية لهذه المقاربة الأخيرة قد رجّحت ظهور تغيرات دماغية هرمونية وما نجم عنها من سلوكيات مفيدة. وفي الواقع باتت اليد التي تهز مهد الصغير هي التي تحكم العالم.

فيض من الهرمونات(***)

قبل قرن من الزمن، وجد العلماء التلميحات الأولى إلى أن هرمونات الحمل هي التي تستنهض حرص أنثى الثدييات على نسلها. وفي أربعينات القرن الماضي، بيَّن <A.F. بيش> [من جامعة ييل] أن الإستروجين والپروجستيرون (وهما الهرمونان التناسليان الأنثويان) ينظمان استجابات مثل العدوانية والنواحي الجنسية عند الجرذان والهامسترات والقطط والكلاب؛ وكذلك أوضح بحث رائد أجراه <S.D. ليرمان> و<S.J. روزنبلات> [اللذان كانا حينها في معهد السلوك الحيواني بجامعة روتگرز في الولايات المتحدة] أن هذين الهرمونين نفسيهما ضروريان لإظهار السلوك الأمومي عند الجرذات. وفي عام 1984 ذكر <S.R. بريجيس> [الموجود حاليا في كلية تافتس كومنكس للطب البيطري] أن إنتاج الإستروجين والپروجستيرون يزداد في مراحل معينة أثناء الحمل، وأن ظهور السلوك الأمومي يعتمد على تفاعل هذين الهرمونين وتناقصهما اللاحق. وكذلك توصل <بريجس> وزملاؤه إلى إظهار أن الپرولاكتين (وهو الهرمون المحرِّض على إدرار الحليب) ينبه السلوك الأمومي عند إناث الجرذان التي سبق أن أشبعت

نظرة إجمالية/ فطنة الأم(**)

- أظهرت الدراسات على القوارض أن هرمونات الحمل تستهل تغيرات لا تقتصر على مناطق دماغية تحكم السلوك الأمومي، بل تتناول أيضا الباحات التي تنظم الذاكرة والتعلم.
- يمكن أن تفسر هذه التغيرات الدماغية سبب كون الجرذات الأمهات أحسن من العذارى في اختيار المتاهات والقبض على الفريسة.
- يدرس الباحثون حاليا ما إذا كانت إناث البشر تكتسب هي أيضا ما تقدمه الأمومة من مزايا عقلية.

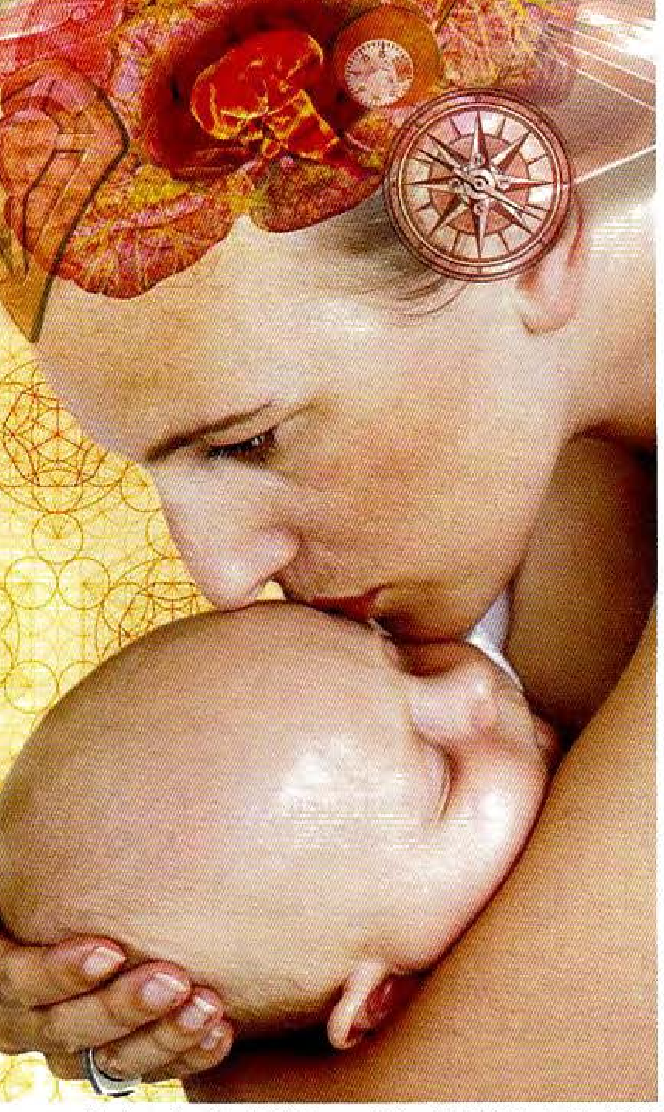
(*) THE MATERNAL BRAIN
(**) Overview / Molhger Wit
(***) Awash in Hormones
(1) drop-the-eggs-and-flee
(2) defend the nest

بالپروجستيرون والإستروجين.

وإلى جانب الهرمونات، يبدو أن الكيماويات الأخرى التي تؤثر في الجهاز العصبي تؤدي دورا في إطلاق الدوافع الأمومية. ففي عام 1980، ذكر ‹R .A. كنتسلر› [من مركز داونستيت الطبي التابع لجامعة ولاية نيويورك] وجود زيادات في الإندورفينات (وهي بروتينات مانعة للألم تولدها الغدة النخامية ومنطقة في الدماغ تدعى **الوطاء** hypothalamus) طوال مدة الحمل، ولا سيما قبيل الولادة. فإضافة إلى كونها تُعِد الأم لتحمل مشقة الولادة، فإن الإندورفينات يمكن أن تُحضّر لاستهلال السلوك الأمومي. وإذا ما أخذ جميع ذلك بالحسبان، فإن البيانات توضح أن تنظيم هذا السلوك يتطلب تنسيق عدة منظومات هرمونية وكيميائية عصبية، وأن دماغ الأنثى يكون رائع الاستجابة للتغيرات التي تصاحب الحمل.

هذا وقد حدد العلماء كذلك المناطق الدماغية التي تحكم السلوك الأمومي. فقد بين ‹ميشيل نيومان› و‹مارلين نيومان› [من بوسطن كوليج] أن جزءا من الوطاء في دماغ الأنثى، يدعى **الباحة قبل البصرية الوسطى (الأنسية)** medial preoptic area (mPOA)، يكون مسؤولا إلى حد كبير عن هذا النشاط؛ إذ إن إحداث أذية في هذه الباحة، أو حقن المورفين فيها، يفسد السلوك المميز للجرذات الأمهات. ولكن ثمة باحات دماغية أخرى غير هذه الباحة تنخرط في ذلك أيضا (*انظر الإطار في الصفحة 21*)، ويكون كل موضع من هذه المواضع حافلا بمستقبلات الهرمونات والكيماويات العصبية الأخرى. وقد اقترح عالم الأعصاب الشهير ‹P. مكلين› [من المعهد الوطني للصحة العقلية] أن **المسارات العصبية** neural pathways من الوطاء (وهو محطة الترحيل في الدماغ) إلى **القشرة الحزامية** cingulate cortex (التي تنظم الانفعالات)، تمثل جزءا مهما من منظومة السلوك الأمومي؛ إذ إن إتلاف القشرة الحزامية هذه في جرذات أمهات يزيل السلوك الأمومي عندها. وفي كتابه لعام 1990 بعنوان: *The Triune Brain in Evolution* افترض ‹مكلين› أن تَشَكُّل هذه المسارات وتناميها قد ساعد على صياغة دماغ الثدييات أثناء تطوره انطلاقا من دماغ الزواحف البسيط.

ومن اللافت للنظر، أنه ما إن تستهل الهرمونات التناسلية استجابة الأمومة، حتى يظهر أن اعتماد الدماغ على تلك الهرمونات يتضاءل وأن **النسل** offspring وحده يتمكن من تنبيه السلوك الأمومي. ولما كان الحيوان الثديي المولود حديثا يعد مخلوقا صغيرا ذا متطلبات غير مريحة في مستويات عديدة (مثل الرائحة الكريهة وقلة الحيلة والنوم المتقطع)، فإن تكريس الأم نفسها له يعد الأكثر إلحاحا بين جميع السلوكيات الحيوانية، حتى إنه يفوق السلوك الجنسي وسلوك الإطعام. وقد اقترحت ‹J. موريل› [من جامعة روتكرز] أن النسل نفسه قد يكون **الإثابة** reward التي تعزز السلوك الأمومي. ويشار إلى أن الجرذات الأمهات، حينما منحت فرصة الخيار ما بين الكوكائين والجراء المولودة حديثا، مالت إلى انتقاء جرائها.



ثمة تغيرات سلوكية ترافق الأمومة عند جميع إناث الثدييات. وتوحي أبحاث جديدة بأن التغيرات التي تحدثها الهرمونات في دماغ الأنثى يمكن أن تجعل الأمهات أكثر يقظة وأحسن إيلاء للرعاية وأفضل تآلفا تجاه صغارهن؛ وكذلك تحسن هذه التغيرات ذاكرتهن المكانية ومقدرتهن على التعلم.

وحديثا درس ‹C. فيريس› [من كلية طب جامعة ماساتشوستس] أدمغة الجرذات الأمهات المرضعات باستخدام التصوير الرنيني المغنطيسي الوظيفي (fMRI) الذي يعد تقنية **غير باضعة** noninvasive **ترصد التغيرات في النشاط الدماغي**، فوجد أن النشاط في **النواة المُتّكئة** nucleus accumbens عند الأم، وهي موضع متمم للتعزيز والإثابة، يزداد بشكل ملحوظ حين ترضع جراءها؛ وأما ‹R. كاندلان› [من جامعة روتكرز] فقد أوضح أن الفأرة الأم حين تتاح لها فرصة استقبال **جراء رضيعة** foster pups (وذلك بأن تضغط هذه الفأرة على قضيب في قفصها، بحيث يفسح المجال لانزلاق الجراء على منحدر)، فإنها تبقى ضاغطة على القضيب إلى أن يمتلئ قفصها بتلك الأجسام

الوردية اللون المتدحرجة.

لقد افترض بضعة باحثين أن الجراء، وهي ترضع من الأم، تلتصق بحلمات أثدائها، ومن الممكن أن تطلق كميات ضئيلة من الإندورفينات في جسم الأم. وقد تعمل هذه الإندورفينات المانعة للألم مثل عقار أفيوني يستجر الأم مجددا للاتصال بجرائها والالتصاق بها. زد على ذلك أن الإرضاع واتصال الجراء بالأم والتماسّ بها تؤدي إلى إطلاق هرمون الأكسيتوسين الذي يكون له المفعول نفسه لدى الأم. ونشير إلى أن الأنواع الثديية الدنيا، مثل الفئران والجرذان التي تفتقر على الأرجح إلى المبادئ والدوافع النبيلة التي يمتلكها البشر، تعتني بجرائها ربما انطلاقا من سبب بسيط وهو أنها تستشعر الارتياح حين تفعل ذلك.

ولكن، ماذا عن **الدوافع** motivations عند الأم البشرية؟ لقد استخدم <J. لوربرباوم> [من جامعة ساوث كارولينا الطبية] التصوير الرنيني (المرْنان) المغنطيسي الوظيفي في فحص أدمغة أمهات بشرية أثناء إصغائهن إلى بكاء أطفالهن: فوجد أن نماذج نشاط هذه الأدمغة كانت شبيهة بتلك المشاهدة في أمهات القوارض فيما يخص منطقة الباحة mPOA والقشرتين المخيتين قبل الجبهية و**الحجاجية الجبهية** orbitofrontal. إضافة إلى ذلك، وجد <سمير زكي> و<A. بارتلز> [من جامعة لندن] أن الباحات الدماغية التي تنظم الإثابة والمكافأة تتنشط وتتفعّل حينما تحدق الأمهات البشرية في أطفالهن. وتوحي هذه المشابهات بين استجابات البشر واستجابات القوارض بوجود دارة عامة للأمومة في دماغ الثدييات.

تغيرات دماغية(*)

لكي نفهم أعمال هذه الدارة، درس الباحثون تغيرات دماغ الأنثى في مراحل تناسلية (إنجابية) مختلفة. ففي سبعينات القرن الماضي، قدمت <C.M. دياموند> [من جامعة كاليفورنيا ببركلي] بعضا من أبكر الأدلة حينما كانت تتحرى القشرات المخية عند جرذات حوامل، مع العلم بأن **الطبقة البرّانية** outermost من الدماغ تؤلف القشرة التي تستقبل المعلومات الحسية وتعالجها؛ وكذلك تتحكم في الحركات الإرادية. فالجرذات التي نشأت وكبرت في بيئات غنية حسيا، أي تحيط بها العجلات والدمى والأنفاق، غالبا ما تمتلك قشرات مخية ذات طيات وتلافيف معقدة تفوق نظيراتها عند الجرذات القابعة في أقفاص خالية من مثل هذه المؤثرات الحسية. ولكن <دياموند> وجدت أن القشرات المخية عند الجرذات الحوامل الموجودة في بيئات فقيرة تماثل في تعقيدها القشرات المخية لدى الجرذات الموجودة في بيئات غنية. وهنا استنتجت <دياموند> أن ثمة توليفة تضم هرمونات وعوامل تخص **الجنين المكتمل** fetus هي التي تقوم على الأرجح بتنبيه أدمغة الجرذات الحوامل.

وبعد عقدين من الزمن تليا الدراسات التي أوضحت أهمية الباحة mPOA فيما يخص السلوك الأمومي، بدأ الباحثون بتقصي ما يصيب تلك المنطقة الدماغية من تغيرات. ففي أواسط التسعينات من القرن الماضي، أوضح <J. كيزر> [وهو باحث في أحد مختبراتنا بجامعة ريشموند] أن الأجسام الخلوية للعصبونات في الباحة قبل البصرية الوسطى عند جرذات حوامل تزداد حجما. والأهم من ذلك أن أطوال **التغصنات** dendrites (وهي تمثل التفرعات التي تستقبل الإشارات والتي تمتد من جسم الخلية) وأعدادها في عصبونات الباحة mPOA تزداد مع تقدم الحمل. وقد لوحظت التغيرات ذاتها عند الجرذات الإناث التي عولجت **برجيم** regime محاكٍ لرجيم الحمل يتكون من البروجستيرون والإستراديول، والأخير يعتبر أقوى الإستروجينات الطبيعية. وعادة ما يصاحب هذه التغيرات العصبونية زيادة في تكوين البروتين وفي الفعالية العصبية. ومن حيث الجوهر، تحرض هرمونات الحمل عصبونات الباحة mPOA استباقا للولادة ولمتطلبات الأمومة. وفي هذا تشبه الخلايا العصبية الجياد الأصيلة المتأهبة عند بوابة السباق استعدادا للانطلاق. أما بعد الولادة، فإن عصبونات الباحة mPOA توجه انتباه الأم ودوافعها تجاه نسلها، على نحو يمكّنها من رعايته وحمايته وتغذيته، ومن أداء السلوكيات الجليلة المعروفة في مجموعها بالأمومة.

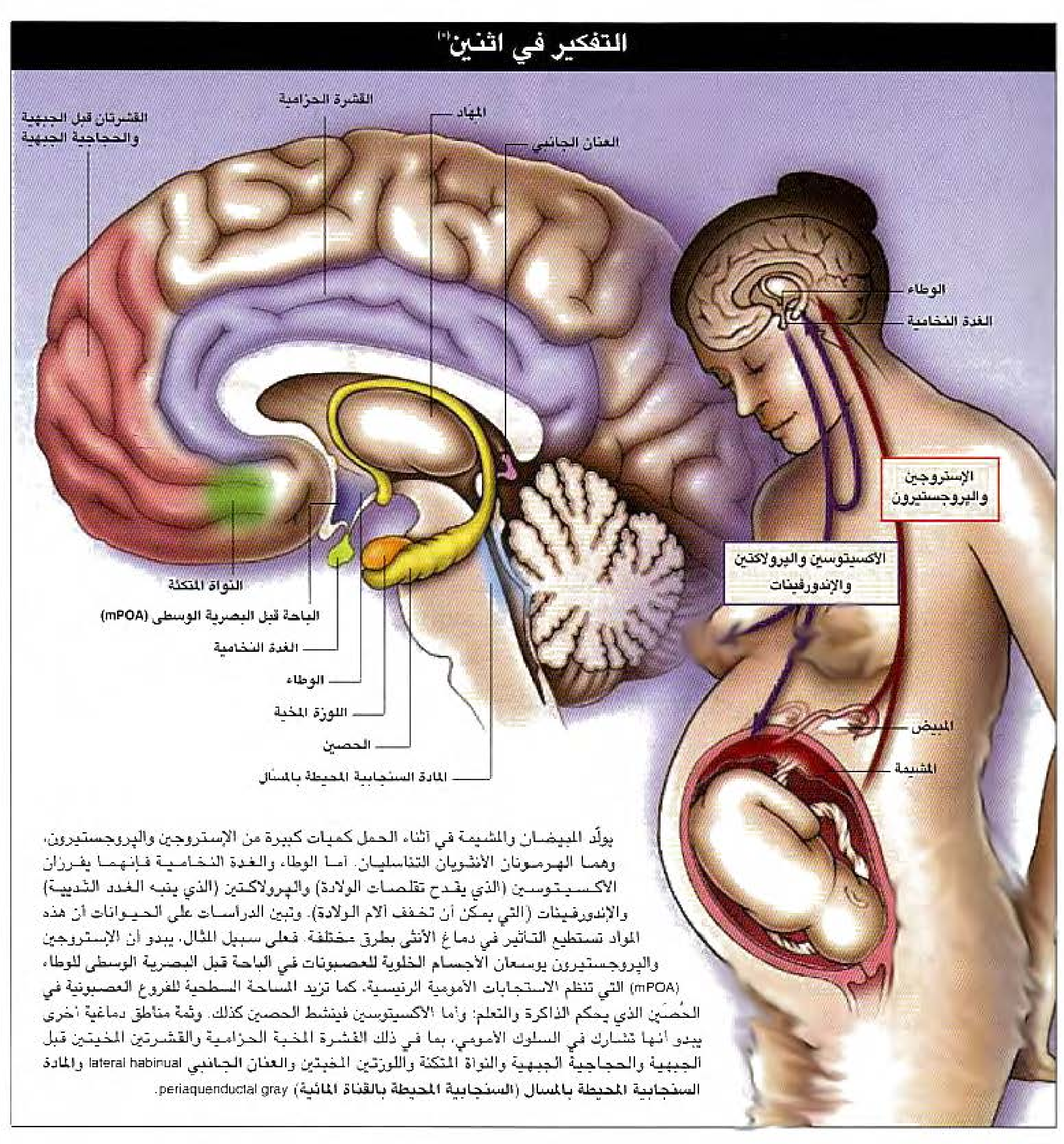
إذا خيرت الجرذات الأمهات بين الكوكائين وجراء حديثة الولادة فإنها تختار الجراء.

ولكن السلوك الأمومي يضم نواحي تتعدى الرعاية المباشرة بالنسل، مما حدا بنا إلى الاعتقاد بإمكانية حدوث تغيرات أيضا في مناطق دماغية أخرى. فعلى سبيل المثال، يكون على الجرذة الأم أن تغامر برعاية وكرها وصغارها حين تضطر إلى المجازفة بغية البحث عن الغذاء، مما يجعلها ونسلها العاجز أكثر عرضة للضواري: لأنها لو بقيت في الوكر تعرّضت هي وصغارها للموت جوعا ببطء. وإننا نستطيع أن نتنبأ بتغيرين **معرفيين** cognitive يُحسنان نسبة الفائدة إلى التكلفة عند الجرذة الأم. يتمثل أولهما في ارتقاء مهارات البحث عن الطعام (مثل مقدرتها المكانية على تعرف بيئتها)، مما يخفض إلى الحدود الدنيا مقدار الزمن الذي تغيب فيه الأم بعيدا عن وكرها؛ وأما التغير الآخر فيتمثل في تقليل خوف الجرذة الأم وقلقها، الأمر الذي يسهّل عليها مغادرة الوكر ويتيح لها جمع الغذاء سريعا ويهيئها لمواجهات مع محيطها العدواني.

وفي عام 1999، عثرنا على دعم للنبوءة الأولى من خلال تبيان

(*) Brain Changes

التفكير في اثنين(*)



يولِّد المبيضان والمشيمة في أثناء الحمل كميات كبيرة من الإستروجين والبروجستيرون، وهما الهرمونان الأنثويان التناسليان. أما الوطاء والغدة النخامية فإنهما يفرزان الأكسيتوسين (الذي يقدح تقلصات الولادة) والبرولاكتين (الذي ينبه الغدد الثديية) والإندورفينات (التي يمكن أن تخفف آلام الولادة). وتبين الدراسات على الحيوانات أن هذه المواد تستطيع التأثير في دماغ الأنثى بطرق مختلفة. فعلى سبيل المثال، يبدو أن الإستروجين والبروجستيرون يوسعان الأجسام الخلوية للعصبونات في الباحة قبل البصرية الوسطى للوطاء (mPOA) التي تنظم الاستجابات الأمومية الرئيسية. كما تزيد المساحة السطحية للفروع العصبونية في الحُصَين الذي يحكم الذاكرة والتعلم؛ وأما الأكسيتوسين فينشط الحصين كذلك. وثمة مناطق دماغية أخرى يبدو أنها تشارك في السلوك الأمومي، بما في ذلك القشرة المخية الحزامية والقشرتين المخيتين قبل الجبهية والحجاجية الجبهية والنواة المتكئة واللوزتين المخيتين والعنان الجانبي lateral habinual والمادة السنجابية المحيطة بالمسال (السنجابية المحيطة بالقناة المائية) periaquenductal gray.

أن الخبرة التناسلية قد حسنت التعلم المكاني والذاكرة المكانية عند الجرذات. فالأمهات الصغيرات اللواتي مرّت بخبرة أو خبرتين تناسليتين صارت أفضل من الجرذات العذارى المضاهيات لها عمرا في تذكر موقع غذاء الإثابة (الطعام المكافأة) داخل نوعين مختلفين من المتاهات (إحداهما متاهة شعاعية ثمانية الأذرع، والأخرى نسخة أرضية لمتاهة موريس المائية، وهي حوض دائري كبير ذو تسعة **جُبَّات** wells للطعام مغرية). وقد لوحظت مقدرات جمع الغذاء المحسنة عند كل من الإناث الرضيعة والأمهات اللواتي فَطَمت صغارها عن الرضاع قبل أسبوعين على الأقل. وإضافة إلى ذلك، قامت العذارى المزودة بصغار رضيعة بنفس أداء الإناث المرضعة. وتوحي هذه النتيجة بأن وجود النسل وحده يستطيع توفير دعم للذاكرة المكانية، ربما عن طريق تنشيط فعاليات دماغية تغير بُنى عصبونية أو عن طريق استحثاث إفراز هرمون الأكسيتوسين.

ونتساءل، هل تتحسن كذلك ملامح أخرى من مهارات **الاقتناص** hunting لدى الأم؟ هناك بحث جديد أجراه طلبة الجامعة في مختبر كنسلي وأظهر أن الجرذات الأمهات أسرع من العذارى

(*) Thinking For Two

في اقتناص الفرائس. فقد وضعت جرذات أمهات وجرذات عذارى بعد حرمانها حرمانا معتدلا من الطعام كل على حدة في خمسة أحواض (مساحة كل منها خمس أقدام مربعة ومفروشة بنشارة خشب) مخبأ تحتها جُدْجُد cricket. وهنا استغرقت العذارى ما متوسطه 270 ثانية تقريبا للعثور على الجدجد والتهامه، وذلك مقارنة بنحو 50 ثانية فقط بالنسبة إلى الإناث المرضعات. وحتى حين جرى تجويع الإناث العذارى أو حين جرى حجب أصوات الجداجد، فإن الجرذات الأمهات بقيت قادرة على الوصول إلى الفرائس على نحو أسرع من الجرذات العذارى.

أما فيما يخص النبوءة الأخرى، فقد وثقت <I. نيومان> [من جامعة ريگنزبورگ في ألمانيا] بشكل متكرر أن الجرذات الحوامل والمرضعة أقل خوفا وقلقا (استنادا إلى قياس مستويات هرمونات الكرب في دمائها) من الجرذات العذارى في مواجهة تحديات مثل القسر على السباحة. كما أكدت <J. وارتيلا> [حين عملت في مختبر كينسلي] هذه النتائج ووسعتها، بفحصها سلوك الجرذات في أحواض الخمس أقدام مربعة. فقد وجدت أن الجرذات الأمهات كانت الأكثر ميلا إلى تقصي المكان والأقل ميلا إلى التوقف خوفا، وهما أمران يدلان على الجرأة. إضافة إلى ذلك، وجدنا تناقصا في أدمغة جرذات في المراحل الأخيرة من الحمل، وكذلك أدمغة إناث عولجت بهرمونات الحمل، فوجدن أن تراكيز أشواك المنطقة CA1 هي أكثر من المعتاد. ولما كانت هذه الأشواك توجه الدَّخْل input نحو العصبونات المصاحبة لها، فإن الارتفاع الكبير في الكثافة أثناء الحمل قد يسهم في القدرة المحسنة عند الأمهات على تجوالها في المتاهات وعلى اقتناصها الفرائس.

ويظهر أيضا أن الأكسيتوسين، وهو الهرمون الذي يسبب تقلصات الولادة وإدرار الحليب، له تأثيراته في الحصين وتحسين الذاكرة والتعلم. وقد ذكر <K. توميزاوا> وزملاؤه [في جامعة أوكاياما باليابان] أن الأكسيتوسين يعزز تأسيس ارتباطات طويلة الأمد بين العصبونات في الحصين؛ إذ إن حقن الأكسيتوسين داخل أدمغة إناث الفئران العذارى قد حسن ذاكراتها الطويلة الأمد، ربما عن طريق زيادة النشاط الإنزيمي الذي يقوي الارتباطات (الوصلات) العصبونية. وعلى العكس من ذلك، فإن حقن **مثبطات الأكسيتوسين** oxytocin inhibiors في أدمغة الجرذات الأمهات قد أضر بأدائها في المهام المرتبطة بالذاكرة.

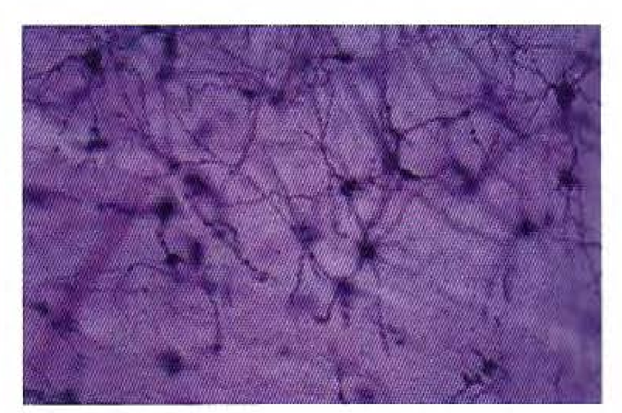
ثمة باحثون آخرون ركزوا على تأثيرات الأمومة في **الخلايا الدبقية** glial cells التي هي النسيج الضام في الجهاز العصبي المركزي. فقد قام <G. W. جيفورد> ومساعدوه من الطلبة [في مختبر كنسلي] بفحص **خلايا نجمية** astrocytes، وهي خلايا ذات شكل نجمي تزود العصبونات بالمغذيات والدعم البنيوي. ووجد هؤلاء أن الخلايا النجمية في الباحة mPOA والحصين، عند جرذات في المرحلة النهائية من الحمل وأخرى مرضعة وجرذات معالَجة بالهرمونات، تكون أكثر تعقيدا وعددا منها عند الجرذات العذارى. ويبدو مجددا أن التأرجحات (التموجات) الهرمونية تستحث النشاط العصبي أثناء الحمل، بحيث تحوِّر العصبونات والخلايا الدبقية في مناطق دماغية محددة بقصد تحسين التعلم والذاكرة المكانية.

ولكن هل يمتد أي من هذه الفوائد المعرفية إلى ما بعد فترة الإرضاع؟ لقد ذكرت <J. D. كيتوود> التي عملت مع طلبة آخرين في مختبر كنسلي، أن الجرذات الأمهات حتى السنتين عمرا (وهذا يعادل نسوة من البشر تجاوزن الستين سنة عمرا) تتعلم المهام المكانية بشكل أسرع كثيرا من نظيراتها الجرذات العذارى ذوات العمر نفسه، كما تبدي تناقصات ذاكرية أقل انحدارا. وفي جميع الفئات العمرية التي جرى اختبارها (6، 12، 18، 24 شهرا)، أبدت الأمهات درجة أفضل من العذارى في تذكر أمكنة **الإثابات الغذائية** food rewrds داخل المتاهات. وحينما جرى فحص أدمغة الجرذات الأمهات عند نهاية الاختبار، وجدنا توضعات قليلة من **البروتينات النشوانية** amyloid الطليعية (مع العلم بأن لهذه

يبدو أن التقلبات الهرمونية تثير نشاطا عصبيا في أثناء الحمل.

النشاط العصبوني في المنطقة CA3 من الحصين و**اللوزة القاعدية الجانبية (الوحشية)** basolateral amygdala، وهما باحتان دماغيتان تنظمان الكرب والانفعال. ويؤكد التسكين الحاصل لاستجابات الخوف والكرب، بالاقتران مع تحسينات المقدرة المكانية، أن الجرذة الأم قادرة على التخلي عن أمان وكرها للقيام بالتفتيش الفعال عن الطعام، والعودة إلى مأواها بسرعة من أجل رعاية نسلها المعرض للخطر.

يظهر أن تغيرات الحصين (الذي ينظم الذاكرة والتعلم وكذلك الانفعالات) تؤدي دورا رئيسيا في حصول هذه التبدلات السلوكية. وقد أظهرت أبحاث <C. وولّي> و<B. مكوين> الرائعة [من جامعة روكفلّر] وجود اختلافات بين مد وجزر في المنطقة CA1 من الحصين أثناء دورة شبق (دورة استروس) أنثى الجرذ (وهي التي تعادل الدورة الطمثية عند البشر)، إذ ازدادت كثافة **الأشواك التغصنية** dendritic spines (وهي نتوءات شوكية الشكل تمنح مساحة سطحية أكبر لصالح استقبال الإشارات العصبية) في هذه المنطقة أثناء ارتفاع مستويات الإستروجين لدى الأنثى. فإذا كانت التأرجحات الهرمونية الوجيزة نسبيا في الدورة الشبقية (النزوية) هي التي تولد مثل هذه التغيرات البنيوية اللافتة للنظر، فإننا نتساءل عما يحدث للحصين أثناء الحمل حين تبقى مستويات الإستروجين والپروجسترون مرتفعة لفترة أطول؟ لقد فحصت <G. ستافيسوساندوز> و<R. ترينر> و<P. كوادروس> [وهن عاملات في مختبر كنسلي]



البروتينات دورا في تنكس الجهاز العصبي بفعل التقدم في السن) في قسمين من الحصين وفي المنطقة CA1 و**التلفيف المسنّن** dentate gyrus للمخ.

وثمة بحث حديث أجراه <G. لوف> و<I. مكنمارا> و<M. مورگان> [في مختبرنا الآخر (مختبر لامبرت)] باستخدام سلالات جرذان وفي شروط اختبار مختلفة، أكد أن التعلم المكاني الطويل الأمد يتحسن عند الجرذات الأمهات الأكبر عمرا. وما هو أكثر من ذلك، أن الباحثين قاسوا جرأة الجرذات باستخدام متاهة على شكل إشارة الزائد (+) وذات ذراعين مفتوحتين تتجنبهما الجرذات بسبب ارتفاعهما وانكشافهما، مما لا يوافر مكان اختباء لها. وهنا قضت الجرذات الأمهات التي اختُبِرت (من معظم الأعمار حتى 22 شهرا) وقتا في الذراعين المفتوحتين المثيرتين للخوف في المتاهة يفوق في مقداره الوقت الذي قضته الجرذات العذارى فيهما. وعند فحص أدمغة الجرذات الأمهات، وجد هؤلاء الباحثون عددا قليلا من الخلايا المتنكسة في القشرتين المخيتين **الحزامية** cingulate والجدارية، وهما المنطقتان اللتان تستقبلان دخلاً حسيا كبيرا. وتوحي هذه النتائج أن **الإغراق** inundation المتكرر لدماغ الأنثى بهرمونات الحمل، مع تأثير البيئة الحسية الغنية للوكر، قد يلطفان بعض تأثيرات تقدم السن في الإدراك.

الوشيجة البشرية(*)

هل تجني الإناث البشرية أية مكاسب معرفية مشابهة من الحمل والأمومة؟ تشير دراسات حديثة إلى أن الدماغ البشري يمكن أن يعاني تغيرات في أجهزة التنظيم الحسي توازي التغيرات المشاهدة عند الحيوانات الأخرى. وقد بينت <A. فليمنگ> [من جامعة تورنتو في ميسّيساوگا] أن الأمهات البشرية قادرة على تعرف العديد من روائح ولدانهن وأصواتهم، ربما بسبب اكتسابهن مقدرات حسية محسنة: إذ وجدت <اليسون> وزملاؤها أن الأمهات اللواتي يمتلكن مستويات عالية بعد الولادة من هرمون الكورتيزول يكنّ أكثر انجذابا وتحفزا بروائح أطفالهن وأحسن قدرة على تعرّف بكاء ولدانهن. وتشير هذه النتائج إلى أن الكورتيزول الذي يزداد نمطيا عند



تكون أجسام خلايا عصبونات المنطقة قبل البصرية الوسطى (mPOA) لأنثى الجرذ العذراء (*في اليسار*) أصغر حجما بكثير من نظيراتها في المنطقة ذاتها للجرذة الحامل (*في اليمين*). ويبدو أن هرمونات الحمل تستحث عصبونات هذه المنطقة (mPOA) معززة اصطناع بروتينها ونشاطها لتلبية مطالب الأمومة المتوقّعة.

الكرب (ويمكن أن يكون ذا وقع سلبي على الصحة)، يمكن أن يتصف بتأثير إيجابي في الأمهات الحديثة. وبازدياد مستويات الكورتيزول، فإن كرب **الوالدية** parenting يمكن أن يزيد الانتباه والحذر والحساسية على نحو يقوي الرابطة ما بين الأم ووليدها.

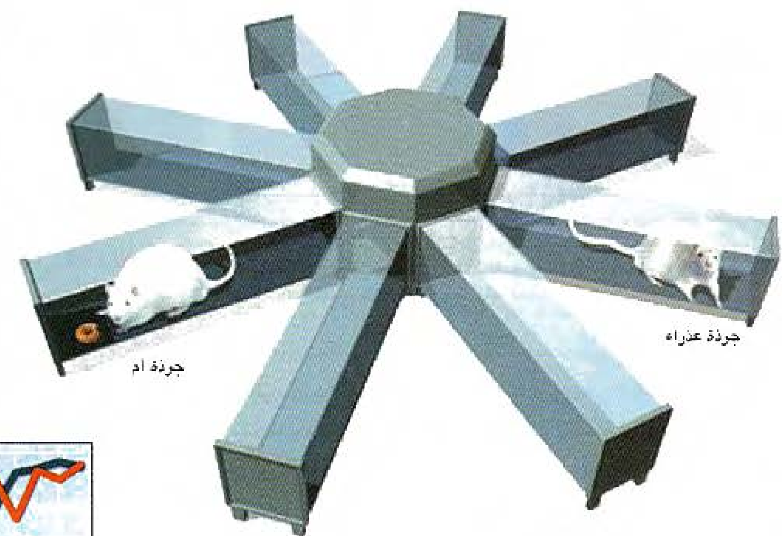
وأشارت دراسات أخرى إلى إمكانية نشوء مفعول طويل الأمد للأمومة. فقد وجد <Th. بيرلس> وزملاؤه [في جامعة بوسطن، كجزء من دراسة نيوإنكلند المئوية] أن النسوة اللواتي كن حوامل في سن الأربعين عمرا أو ما بعدها، يحتمل أن تمتد أعمارهن حتى سن المئة بنسبة مئوية تساوي أربعة أمثال احتمال بقاء النسوة اللواتي أصبحن حوامل في وقت أبكر من أعمارهن. ولعل السبب في ذلك يعود إلى أن وتيرة الشيخوخة تكون أبطأ خطى في النساء اللواتي أصبحن حوامل بشكل طبيعي في الأربعينات من أعمارهن. أما نحن فإننا نضيف إلى ذلك أن الحمل وخبرة الأمومة اللاحقة قد تكون حسّنت أدمغة النسوة في فترة حاسمة من شروع التراجع في الهرمونات التناسلية بتحريض من **الإياس** (سن اليأس) menopause. وقد تساعد المكاسب المعرفية للأمومة على تلافي نضوب الهرمونات الحافظة للذاكرة، مما يؤدي إلى صحة عصبية أفضل وإلى **تعمير** longevity أطول.

هل يمكن أن تُضعف الأمومة منافسةَ النسوة للآخرين ابتغاء الموارد المحدودة؟ لسوء الحظ لم يُجْرِ العلماء إلا أبحاثا قليلة تخص مقارنة التعلم أو الذاكرة المكانية بين الأمهات و**اللاأمهات** nonmothers البشرية. وقد أظهرت دراسة قام بها <J. گالين بوكوالتر> [من جامعة سوذرن كاليفورنيا] في عام 1999 أن النسوة الحوامل كانت نتائجهن في بضعة اختبارات للذاكرة اللفظية دون المستوى الطبيعي، ولكن سرعان ما ارتدّت درجاتهن إلى المستوى الطبيعي بعد المخاض. ولكن هذه الدراسة كانت ضيقة النطاق (اقتصرت على 19 فردا) ولم تجد تغيرات ذات

(*) The Human Connection

تعرف الأم ما هو أفضل(*)

تشير التجارب الحديثة إلى أن الخبرة التناسلية تحسن التعلم المكاني (الحيزي) spatial والذاكرة عند الجرذان في الوقت الذي تقلل من الخوف والكرب. ويمكن أن تحسِّن تغيرات السلوك هذه مقدرات الجرذة الأم على جني الطعام، الأمر الذي يمنح جراءها فرصة أفضل للبُقْيا (للبقاء على قيد الحياة).



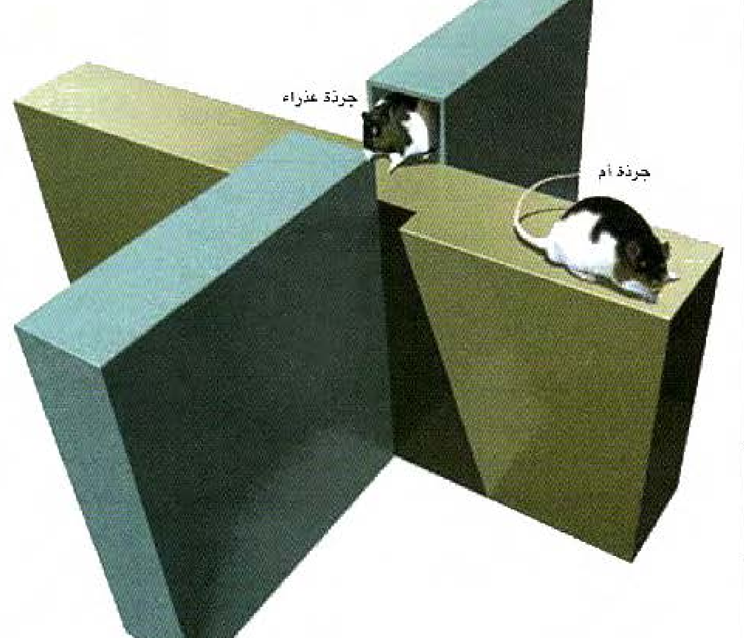
متاهة شعاعية ذات ثماني أذرع

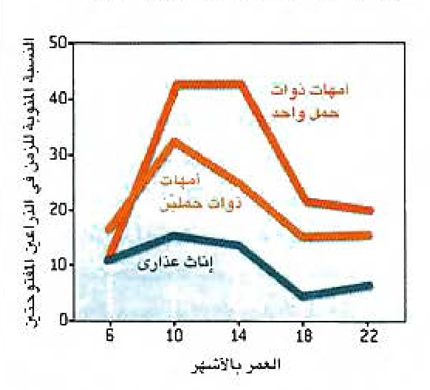
في البداية، قام الباحثون بمؤالفة الجرذان مع المتاهة الشعاعية التي وضعت طعوم الغذاء بادئ ذي بدء في جميع أذرعها الثماني، ثم في أربع أذرع، ثم في ذراعين، وأخيرا في ذراع واحدة. وبعدئذ قاس هؤلاء الباحثون درجة تذكر تلك الجرذان الذراع التي استبقي الطعم فيها، فوجدوا أن الجرذات الأمهات التي سبق لها أن حملت مرة أو مرتين كانت الأنجح في استكشاف المتاهة (بمعنى الأسرع في العثور على الطُّعم خلال ثلاث دقائق) منذ اليوم الأول للاختبار؛ في حين لم تحقق الجرذات العذارى تلك الدرجة المضاهية من النجاح إلا في اليوم السابع.

جرذات أمهات
جرذات عذارى
عدد المرات التي أكملت فيها الجرذان المتاهة (من أصل ثماني محاولات)
يوم المحاولة

متاهة مرتفعة على شكل إشارة الزائد (+)

في هذه المتاهة التي أعطيت شكل إشارة الزائد وارتفعت فوق الأرض أربع أقدام، قاس الباحثون كم من الوقت قضت الجرذان في الذراعين المفتوحتين اللتين تميل القوارض إلى تفاديهما بسبب كونهما مرتفعتين ومكشوفتين (خلافا للحال في الذراعين المسدودتين للمتاهة). هنا وجد الباحثون أن الجرذات الأمهات من جميع الأعمار كانت أجرأ من العذارى، إذ تصرف وقتا أطول في الذراعين المكشوفتين المثيرتين للخوف.





(*) Mother Knows Best

تكاد الجرذات الأمهات تتفوق على الدوام على الجرذات العذارى في المنافسات التي تتضمن مهامّ متعددة.

[...]مغزى في الذكاء العام. أما الصحافية <K. إليسون> فقد وثّقت عدة حالات قد تساعد فيها المهارات المكتسبة من خلال **الوالدية** parenting النسوة في أمكنة عملهن. هذا، وتتطلب القيادة الناجحة حساسية تجاه احتياجات المستخدمين وحذرا مدعما تجاه التحديات والتهديدات المحتملة، ولكن هل يمكن لهذه المهارات أن تنتقل من دار الحضانة إلى مكاتب الإدارة؟

لقد بدأ الباحثون يركزون على مهارة ترافق الأمومة تقليديا، ألا وهي مقدرة **القيام بمهام متعددة** multitask. فهل تتيح التغيرات في دماغ الأم للأمهات الموازنة بين طلبات متنافسة (تتمثل في رعاية الطفل وأداء العمل وتلبية الالتزامات الاجتماعية وغيرها) على نحو أفضل من اللاأمهات؟ صحيح إن الإجابة عن ذلك لا يعرفها العلماء حتى الآن، ولكن الدراسات تشير إلى أن الدماغ البشري يتصف بالمرونة إلى حد كبير: إذ إن بنيته ونشاطه يمكن أن يتغيرا حين يواجه الشخص تحديا ما. فلقد وجد <A. ماي> وزملاؤه [في جامعة ريگنزبورگ] تغيرات في أدمغة الشابات والشباب الذين تعلموا كيفية تداول قذف ثلاث كرات في الهواء، إذ توسعت المناطق المخصصة لإدراك الحركة والتنبؤ بها بعد أن تعلم المفحوصون كيفية تداول الكرات وقذفها، ثم انكمشت هذه المناطق بعد التوقف عن ممارستها. وبالمثل، فإن التغيرات الحاصلة في دماغ الأم ربما تتيح لها أن تتداول طلبات **الوالدية** parenthood بنجاح.

وتبين الدراسات على الحيوان أن الجرذات الأمهات تجيد بشكل خاص مقدرة المهام المتعددة. فقد أوضحت تجارب أجريت في مختبر لامبرت أن الجرذات الأمهات تتفوق على الدوام تقريبا على الجرذات العذارى في المنافسات التي تتضمن رصد ومراقبة مشاهد تلفزيونية وأصوات وروائح وحيوانات أخرى في آن معا. وفي سباق للعثور على طعام مفضل، كانت الجرذات التي سبق لها الحمل مرتين أو أكثر هي السبّاقة إلى تناوله طوال 60 في المئة من الزمن، مقابل 33 في المئة للجرذات التي عاشت حملا واحدا فقط، وذلك مقارنة بـ7 في المئة للجرذات العذارى.

وأخيرا، ماذا عن دماغ الأب؟ هل يكتسب الآباء الذين يعتنون بالنسل أي مزايا عقلية؟ للإجابة عن ذلك قد تزودنا دراسات على نسناس **القشة** mormoset الصغير (الذي يشيع في البرازيل) ببعض الاستبصارات. فهذه النسانيس **أحادية الزواج** monogamous (الذكر متزوج بزوجة واحدة)، ويشترك كلا الوالدين في الاعتناء بالنسل. وبالتعاون مع <S. إيفانس> و<G.V. كابري> من أجمة (غابة) النسانيس في ميامي بفلوريدا قامت <A. كاريت> [من مختبر لامبرت] باختبار أم وأب من هذه النسانيس على شجرة تحمل أواني للطعام. وكان على النسانيس أن يتعلما أيا من هذه الأوعية يحمل طعاما أكثر. وهنا لوحظ أن الوالدين (الأم والأب) يتفوقان على النسانيس غير الوالدية في هذا الاختبار. وقد دعمت هذه النتيجة دراسات سابقة كانت قد فحصت نوعا من الفئران يحمل اسم *Peromyscus cliformicus*، ويسهم فيه الذكر بالرعاية الوالدية بشكل كبير. هذا وقد وجدت <E. كلاسبر> وطلبة آخرون [في مختبر لامبرت] أن الفئران الآباء شأنهم شأن الفئران الأمهات ينجحون في المتاهة الأرضية الجافة. كما أظهر <A. إيفيرين> و<K. تو> أن الآباء كانوا أسرع في استقصاء المنبهات الحديثة (مثل أحجار الليگو) من نظرائهم العزاب.

وفي الختام، يبدو أن الخبرة التناسلية تثير تغيرات في دماغ الثدييات من شأنها تغيير المهارات والسلوكيات وبخاصة لدى الإناث. وبالنسبة إلى الأنثى، يتمثل التحدي الأكبر (بالمنظور التطوري) في تأمين تنمية استثمارها الجيني. لقد تطورت سلوكيات الأمومة بحيث تزيد من فرص نجاح الأنثى. وهذا لا يعني أن الأمهات أفضل من نظيراتهن العذارى في جميع المهام، ولكن في جميع الاحتمالات، لا تتحسن إلا السلوكيات التي تؤثر في الإبقاء على حياة نسل الأمهات. ويبقى أن هناك عدة مكاسب يبدو أنها تشتق من الأمومة كلما ارتقى دماغ الأم إلى مستوى التحدي التناسلي الذي يواجهها. وبكلمات أخرى، حينما يغدو المسير شاقا، يَشقّ الدماغ مسيرته. ■

المؤلفان

Craig Howard Kinsley - Kelly G. Lambert

قضيا أكثر من عقد من الزمن يتحريان تأثيرات الحمل والأمومة في دماغ الإناث. يشغل كنسلي أستاذية «مكلدين تراويك» للعلوم العصبية في قسم علم النفس مركز العلوم العصبية بجامعة ريشموند. أما لامبرت فهو أستاذ العلوم العصبية سلوكية وعلم النفس ورئيس قسم علم النفس والمدير المعاون لمكتب الأبحاث جامعية في راندولف ـ ماكون كوليج

مراجع للاستزادة

Mother Nature: Maternal Instincts and How They Shape the Human Species. Sarah B. Hrdy. Ballantine Books, 2000.

The Maternal Brain: Neurobiological and Neuroendocrine Adaptation and Disorders in Pregnancy and Post Partum. Edited by J. A. Russell, A. J. Douglas, R. J. Windle and C. D. Ingram. Elsevier, 2001.

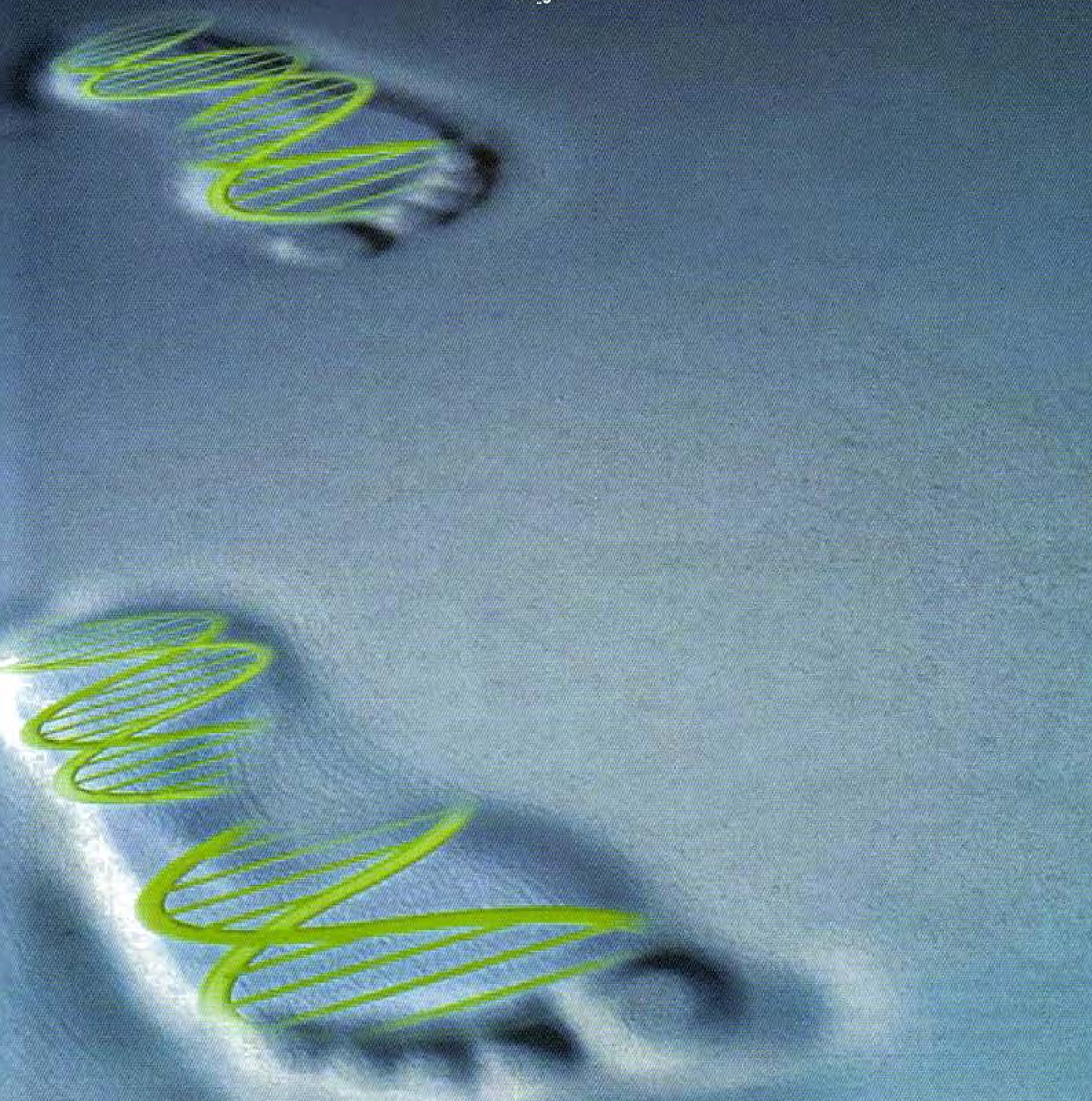
A Tribute to Paul MacLean: The Neurobiological Relevance of Social Behavior. Edited by K. G. Lambert and R. T. Gerlai. Special issue of *Physiology and Behavior*, Vol. 79, No. 3; August 2003.

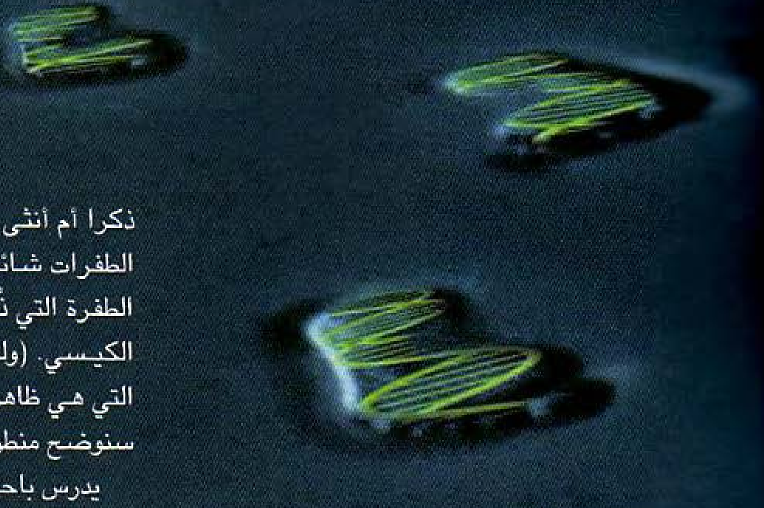
The Neurobiology of Parental Behavior. Michael Numan and Thomas R. Insel. Springer-Verlag, 2003.

طفرات وراثية مُنشِئة(*)

بوسع مجموعة خاصة من الطفرات الوراثية التي غالبا ما تسبب أمراضا بشرية، أن تمكن العلماء من اقتفاء أثر هجرة ونمو جماعات بشرية معينة عبر آلاف السنين.

<D. درينا>





يمكن لرجلين كهلين يعيشان في الولايات المتحدة أحدهما بعيد عن الآخر آلاف الأميال ولم يسبق لأي منهما أن التقى الآخر، أن يحملا خلة مشتركة تتمثل بنزوعهما إلى امتصاص الحديد على نحو مرض جدا لدرجة أنه يمكن لهذه الفائدة الظاهرية أن تصبح في الواقع غير صحية؛ أي يمكن أن تلحق الأذى بأعضاء عديدة، أو حتى تسبب الموت. وغالبا ما يحمل شخص ما هذه الخَلة، وتدعى **الصُباغ الدموي الوراثي** herditary hemochromatosis، لأن كلا من والديه قد نقلا إليه الطفرة ذاتها في جينة معينة، خطأ نشأ منذ زمن بعيد في شخص واحد في أوروبا. وحُملت الطفرة عندئذ عبر الزمن والمكان من قبل المتحدرين من هذا الأوروبي، ويبلغ عددهم حاليا 22 مليون أمريكي، يحمل كل منهم نسخة واحدة على الأقل من هذه الجينة، بما في ذلك الرجلان المذكوران آنفا، اللذان قد يُفاجآن أن يعلما بأن صلة قربى تجمع بينهما. ويُعرف السلف، الذي قضى منذ زمن بعيد، **بالمنشئ** the founder لهذه الجماعات البشرية، ويُعرف ميراثه (أو ميراثها) التطوري **بالطفرة المُنشئة** founder mutation.

لقد اكتشف المختصون بالوراثة آلاف الطفرات المسؤولة عن الأمراض في البشر، ولكن الطفرات المنشئة شيء مختلف. فضحايا العديد من الأمراض الوراثية يموتون قبل أن يتناسلوا، الأمر الذي يحول دون وصول الجينات الطافرة إلى الأجيال القادمة. أما الطفرات المنشئة، فإنها تستبقي حامليها غالبا، وبذلك يمكنها أن تنتشر بدءا من مُنشئها الأصلي إلى المتحدرين منه، سواء أكان المنشئ ذكرا أم أنثى. وتكون بعض الاضطرابات الناجمة عن تلك الطفرات شائعة، كالصُباغ الدموي الوراثي الذي تسببه الطفرة التي ذُكرت آنفا، وكذلك فقر الدم المنجلي والتليف الكيسي. (ولكن لماذا يحافظ التطور على تلك الطفرات، التي هي ظاهريا مؤذية، عوضا عن التخلص منها؟ إننا سنوضح منطق الطبيعة هذا في سياق هذه المقالة.)

يدرس باحثو الطب الطفرات المرضية على أمل أن يعثروا على طرائق بسيطة لتعرف مجموعات الناس المعرضين للخطر، وأيضا للتوصل إلى أفكار جديدة لمنع الحالات المتصلة بهذه الطفرات ولمعالجتها [*انظر الإطار في الصفحة 31*]. واكتشف الباحثون، كحصيلة ثانوية استثنائية لهذه الجهود، أنه يمكن للطفرات المنشئة أن تعمل كآثار أقدام تركتها البشرية لدى انتشارها عبر الزمن. إن هذه الطفرات تزود الأنثروبولوجيين (المختصين بعلم الإنسان) بطريقة فعالة لاقتفاء تاريخ الجماعات البشرية وهجراتها في الأرض كلها.

تَفَرُّد الطفرات المنشئة(*)

إن تقدير الوضع غير العادي للطفرات المنشئة حق قدره ولماذا تُقدم هذا الكم الكبير من المعلومات، يقتضي دراسة موجزة للطفرات عامة. فالطفرات تنشأ نتيجة تغيرات عشوائية **لدنا** DNA خلايانا. ويتم تصليح معظم هذا الأذى أو التخلص منه عند الولادة، فلا يُنقل إلى الأجيال التالية. ولكن بعض الطفرات ـ ويطلق عليها اسم طفرات **الخط المنتش** germ-line ـ تُنقل إلى الأجيال اللاحقة؛ غالبا مع عواقب طبية خطيرة للذراري التي ترثها. إن أكثر من ألف مرض مختلف ينشأ عن طفرات في الجينات البشرية المختلفة.

وتقع الطفرات المنشئة في فئة الخط المنتش، ولكن على نحو لانمطي. وتنطبق عادة على الأمراض الموروثة قاعدتان عامتان. الأولى منهما أن الطفرات المختلفة في الجينة نفسها تسبب عموما المرض ذاته. وينجم عن ذلك عادة أن

(*) The Uniqueness of Founder Mutations

تكون لدى العائلات المختلفة التي أصيبت بالمرض نفسه طفرات مختلفة مسؤولة عن ذلك المرض. فمثلا، تنشأ اضطرابات النزف المعروف بالناعور عن طفرة في الجينة المكودة للعامل VIII (الثامن)؛ وهو أحد مكونات منظومة تجلط الدم. وعموما، فإن كل حالة جديدة من الناعور تحمل طفرة متفردة ومنفردة في جينة العامل VIII. لقد تعرف الباحثون طفرات في مئات المواضع من هذه الجينة.

بيد أنه في عدد قليل من الاضطرابات تُلاحظ الطفرة نفسها تكرارا. ويمكن لهذه الطفرة المثيلة أن تنشأ بطريقتين مختلفتين: طفرة **النقطة الساخنة** hot-spot أو الطفرة المنشئة. والنقطة الساخنة هي زوج (شفع) من الأسس[1] (القواعد) ينزع إلى الطفر بصورة استثنائية. فمثلا، **الودانة** achondroplasia شكل شائع من القزامة ينتج عادة من طفرة في زوج الأسس 1138 في الجينة المعروفة بالرمز FGFR3 على الذراع القصيرة للصبغي الرابع. ولا تكون هنالك عادة صلة قربى بين الأفراد الذين يؤوون طفرات النقاط الساخنة، ومن ثم فإن بقية الدنا لديهم ستتغاير نمطيا كما هي الحال في الأفراد الذين لا تربطهم صلة قربى. إن الطفرات المنشئة، التي تُنقل عبر الأجيال تماما كما هي، تتميز كليا عن طفرات النقاط الساخنة العفوية.

ويكون الدنا التالف لدى كل من يحمل طفرة منشئة مطمورا في مدّ أطول من الدنا مطابق لدنا المنشئ. ويعرّف العلماء تلك الظاهرة بأنها «مثيلة (مطابقة) بالنسب». ويطلق على كامل هذه المنطقة المشتركة من الدنا ـ وهي عُليبة (كاسيت) بكاملها من المعلومات الوراثية ـ اسم **النمط الفرداني** haplotype. إن من يتقاسم النمط الفرداني يتقاسم أيضا سلفا، هو المنشئ. إضافة إلى ذلك، فإن دراسة هذه الأنماط الفردانية تجعل من الممكن اقتفاء أثر أصول الطفرات المنشئة، ومن ثم اقتفاء أثر الجماعات البشرية.

ويمكن تقدير عمر الطفرة المنشئة بتحديد طول النمط الفرداني، الذي يتقاصر مع الزمن [*انظر الإطار في الصفحة 30*]. وفي الحقيقة، فإن النمط الفرداني للمنشئ الأصلي هو الصبغي بكامله، الذي يتضمن الطفرة. ويتم نقل المنشئ على هذا الصبغي إلى النسل، حيث يسهم زوج المنشئ (أو زوجته) بصبغي نظيف تماما. ويتبادل الصبغيان (صبغي واحد من كل من الوالدين) تبادلا عشوائيا قطَعًا من الدنا، تماما كمجموعتين من أوراق اللعب تقطعان وتخلطان جُزافا.

وستظل الطفرة مطمورة في قطعة طويلة جدا من دنا نسخة المنشئ بعد **تأشيب** recombination واحد فقط، تماما كما يحدث في الغالب لورقة اللعب المعلَّمة، التي تظل مترافقة مع العديد من أوراق اللعب التي كانت قبلها وبعدها في المجموعة الأصلية، بعد دورة واحدة من القطع والخلط العشوائيين. ولكن الورقة المعلَّمة ستترافق بعدد من الأوراق، يقل تدريجيا بعد كل قطع وخلط. وبطريقة مماثلة، فإن النمط الفرداني، الذي يشتمل على الجينة الطافرة، سيتقاصر تدريجيا مع كل تأشيب تال.

بناء على ذلك، فإن طفرة منشئة فتية عمرها بضع مئات السنين فقط، يجب أن تتواجد في أناس يحملونها حاليا في وسط نمط فرداني طويل؛ في حين أن طفرة منشئة معمرة، ربما يبلغ عمرها بضع عشرات آلاف السنين، ستتواجد في حامليها الحاليين ضمن نمط فرداني قصير.

إن زيغ جينة الصُّباغ الدموي مجرد واحد في سجل شذوذات الطفرات المنشئة. وقد عُرف عدد آخر، ودُرس دراسة مفصلة في الأوروبيين، وتم حاليا تعرف عدد قليل منها في سكان أمريكا الأصليين وآسيا وإفريقية [*انظر الإطار في الصفحة 32*]. وتتمثل الحقيقة اللافتة للنظر في الشيوع الذي يميز هذه الطفرات: فتواترها يزيد مئات بل حتى آلاف المرات على تواتر الطفرات النمطية، التي تسبب الأمراض. إن معظم طفرات الأمراض يوجد بتواتر يراوح ما بين طفرة واحدة في بضعة آلاف فرد وطفرة واحدة في بضعة ملايين. أما الطفرات المنشئة فيمكن لتواترها أن يرتفع ليصل إلى بضعة أفراد في كل مئة من السكان.

ويقدم هذا الشذوذ ـ ألم يكن من الحري بالتطور أن يتخلص من هذه الجينات الضارة، عوضا عن نشرها بالانتقاء؟ ـ مفتاحا مهما للغز استمرار وانتشار الطفرات المنشئة على اليابسة وفي البحر وعبر الزمن.

وتتمثل الإجابة، التي ربما لن تكون مفاجئة، في أن الطفرات المنشئة قد تُثبت في ظروف معينة أنها مفيدة. إن معظم الطفرات المنشئة هي طفرات صاغرة؛ أي إن الفرد لن يقاسي المرض إلا إذا ورث نسختين من الجينة الطافرة: واحدة من كل من والديه. ويُطلق على الناس الذين يشكلون نسبة مئوية عالية جدا ويملكون نسخة واحدة، اسم **حاملي المرض** carriers. إن بوسعهم نقل الجينة إلى أولادهم، ولا تظهر عليهم أعراض المرض. والنسخة الواحدة من الطفرة المنشئة تمنح الحامل أفضلية في صراعه من أجل البُقيا (البقاء على قيد الحياة).

فمثلا، يُظن أن حمَلة طفرة الصُّباغ الدموي محميون من فقر الدم الناجم عن عوز الحديد (حالة كانت في الماضي تهدد الحياة)، لأن البروتين المكود في الجينة الطافرة يجعل المرء يمتص الحديد بكفاية أعلى من الأفراد الذين يحملون نسختين سويتين من الجينة. لذا، فإن حاملي المرض كانوا يملكون هامشا من الحماية عندما كان الحديد الغذائي نادرا.

نظرة إجمالية/ تاريخ في تسلسل[*]

- إن الطفرات المنشئة هي صف خاص من الطفرات الجينية؛ مطمورة في مدّات من stretches الدنا DNA متطابقة تماما في جميع الأفراد الذين يحملونها. إن كل شخص لديه طفرة منشئة، له سلف عام هو المنشئ، ظهرت فيه الطفرة أولا.
- إن قياس طول مدّ الدنا الذي يحوي الطفرة المنشئة وتعرُّف الحاملين الحاليين لهذه الطفرة، يمكِّن العلماء من حساب التاريخ التقريبي الذي ظهرت فيه تلك الطفرة لأول مرة، وتحديد المسار الذي سلكته في انتشارها. ويقدم هذان النوعان من البيانات معلومات عن هجرات عبر التاريخ لجماعات معينة من البشر.
- مع تمازج جماعات بشرية منفصلة، فإن الطفرات المسببة للأمراض التي تترافق حاليا مع جماعات إثنية (عرقية) معينة، ستتواجد على الأرجح عشوائيا. وسيتجه طب المستقبل إلى تحليل الدنا كي يحدد مخاطر الأمراض التي تترافق حاليا مع الإثنية.

(*) Overview / History in a Sequence

(1) وهي الوحدات الإفرادية للدنا.

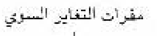
أصلي قديم مقابل وافدين كثر(*)



إذا كانت لدى أفراد مجموعة مصابين جميعهم بالمرض نفسه، الطفرة ذاتها في نقطة محددة من دنا خلاياهم، فكيف يمكن للأطباء أن يتأكدوا مما إذا كانوا بصدد طفرة النقطة الساخنة، أم بصدد طفرة منشئة؟ يمكنهم ذلك بتحليل تتابعات الدنا المجاورة.

لنفترض أن الكود لدى المرضى جميعهم تغير في نقطة محددة من T إلى A (*الأحمر في الأسفل*). فإذا كانت A طفرة منشئة، فإن التسلسلات المجاورة في المرضى كافة ستكون مثيلة: أي إن المرضى ورثوا التسلسل الكامل من السلف نفسه الذي قضى قبل زمن بعيد؛ أما إذا كانت A طفرة لنقطة ساخنة، حدثت تلقائيا في مكان ينزع فيه الدنا إلى الخطأ، فإن التسلسلات المجاورة ستظهر أيضا فروقا أخرى (*الذهبي*) في مواقع يكوِّد فيها الدنا على نحو سوي، إنما ينزع فيها إلى التفاوت من دون أن يسبب المرض.

إن مرض الخلايا المنجلية الذي يتميز بكريات حُمْر مشوهة الشكل (*الصورة العلوية*)، ينشأ عادة عن طفرة منشئة. أما **الودانة** achondroplasia، وهي شكل من التقزم البشري (*الصورة السفلية*)، فتنشأ عادة عن طفرة النقطة الساخنة.



وربما يتجسد المثال الأكثر شهرة عن طفرة جينية ذات حدين بالطفرة المسؤولة عن مرض الخلايا المنجلية. وعلى ما يبدو، نشأت طفرة الخلايا المنجلية على نحو متكرر في المناطق التي خربتها الملاريا (البُرداء) في إفريقيا والشرق الأوسط. إن نسخة واحدة من جينة الخلايا المنجلية تساعد حاملها على البُقيا في حال أعدي (أُخمج) بالملاريا. ولكن النسختين تحكمان على من يحملهما بمقاساة الألم وبقصر العمر. ويمكن العثور حاليا على طفرة الخلايا المنجلية في خمسة أنواع مختلفة من النمط الفرداني، تفضي جميعها إلى الاستنتاج بأن الطفرة ظهرت على نحو مستقل خمس مرات في خمسة منشئين مختلفين (ومع أن مرض الخلايا المنجلية ينجم عادة عن طفرة منشئة، فإن بعض الحالات تنشأ قطعا عن طفرات أخرى).

وتتحكم في تواتر الطفرة المنشئة في الجماعة السكانية الواحدة قوتان تنافسيتان، فالفرد الذي يحمل نسختين، يحتمل أن يموت قبل أن يتناسل. ولكن من يحمل نسخة واحدة سيكون عمره أطول على نحو تفضيلي من الفرد الذي لا يحمل أي نسخة. وتُنتج هذه الظاهرة ما يعرف بالانتقاء التوازني، حيث تعمل التأثيرات المفيدة على رفع تواتر الجينة الطافرة؛ في حين تعمل التأثيرات المؤذية على خفض التواتر. فالتطور إذًا يعطي ويأخذ. وهكذا، فإن الجينات الطافرة تصل عبر الزمن في الجمهرة السكانية الواحدة إلى مستوٍ مستقر.

ولكن الباحثين مازالوا غير قادرين على تعرف الأفضلية التي تمنحها بعض الطفرات المنشئة ذات الصلة بالأمراض، مع العلم بأن استمرار بقاء الجينة يشير قطعا إلى وجود فائدة من نوع ما. فمثلا، قد يستطيع اكتشافٌ تحقّق مؤخرا أن يفسر استمرار **العامل لايدن V Leiden V**: وهو طفرة في جينة العامل V (الخامس): الجينة المسؤولة عن مكون آخر من مكونات تجلط الدم. إن هذه الطفرة المنشئة التي يبلغ تواترها 4 في المئة لدى الأوروبيين، تؤدي إلى خُثار thrombosis: حالة من التجلط الدموي المرضي. ففي عام 2003، برهن <B .A. كيرلين> وزملاؤه [في مركز الدم لساوث إيست ويسكونسن وفي كلية طب ويسكونسن] على أن حملة هذه الطفرة يقاومون التأثيرات المميتة لعدوى (خمج) بكتيرية في مجرى الدم. وكانت هذه التأثيرات تمثل تهديدا خطيرا للبُقيا في حقبة ما قبل المضادات الحيوية، ولاتزال تشكل حاليا سببا من أسباب الموت.

انتشار جيني مستمر حول العالم(**)

لقد هاجرت الطفرات المنشئة، قبل وسائط النقل العصرية بزمن طويل، مسافات شاسعة: رحلات استغرقت، في حالات عديدة، دزينات وحتى مئات من الأجيال. فخلة الخلايا المنجلية هاجرت من إفريقيا

(*) An Old Original Vs. Numerous Newcomers

(**) A Gene Spread Round the World

غربا باتجاه أمريكا على متن بواخر العبيد، وشمالا إلى أوروبا. إن طفرة منشئة شائعة في جينة تُعرف بالرمز GJB2، تسبب الصمم. لقد تم اقتفاء أثر هذه الطفرة بدءا من أصولها في الشرق الأوسط عبر مسارين مختلفين: أحدهما شاطئ المتوسط إلى إيطاليا وإسبانيا، والآخر عبر وديان نهري الراين والدانوب إلى أوروبا الشمالية. وعلى ما يبدو، فإن طفرة منشئة في جينة تعرف بالرمز ABCA4 وتسبب العمى، كانت قد نشأت قبل 2700 عام في السويد، وانتشرت إلى الجنوب والغرب عبر أوروبا.

ولكن من المحتمل أن تقدم التغايرات الجينية في حاسة التذوق المثال الأكثر تطرفا على الهجرة. فقرابة 75 في المئة من سكان الأرض يدركون بالتذوق مادة تعرف **بفنيل التيوكرباميد** phenyl thiocarbamide (PTC) على أنها شديدة المرارة، أما البقية (25 في المئة) فلا يدركون على الإطلاق مرارة المادة PTC. لقد اكتشفت وزملائي [في المعاهد الوطنية للصحة] مؤخرا أن تضاميةً(1) تتألف من ثلاثة تغيرات مختلفة، هي التي تقود إلى شكل الجينة التي تكوِّد البروتين المستقبل في غير المتذوقين للمادة PTC. وعمليا، فإن غير المتذوقين كافة في العالم أجمع تحدروا من فرد منشئ واحد امتلك هذه التغيرات النوعية في الجينة. لقد وُجد الإحساس بالتذوق المر لحمايتنا من أكل المواد السامة في النباتات، ولكن ما هي الفائدة المحتملة للجينة المتخالفة لدى غير المتذوقين؟ إننا نرتاب في أن الشكل غير المتذوق يكوِّد نسخة معدلة لكاشف المادة PTC، تحولت كي تتحسس مادة سامة أخرى لم يتم تعرفها حتى الآن.

إن طفرة غير المتذوقين مطمورة في مدًى غاية في القصر من الدنا السفلي. يبلغ في بعض من يحمله 30 000 زوج من الأسس فقط. وينبئنا هذا بأن الطفرة المنشئة قديمة جدا، ويحتمل أن يزيد عمرها على 100 000 عام. وفي العام الماضي (2004)، أوضحت دراسات عالمية النطاق وجود سبعة أشكال مختلفة من جينة PTC في المناطق الإفريقية التي تلي الصحراء الكبرى. ولكن المتذوقين وغير المتذوقين الرئيسيين وحدهم وُجدوا بتواتر ذي معنى خارج الجماعات السكانية الإفريقية. ووُجد أحيانا من أصل الأشكال الخمسة المتبقية واحد فقط في المجاميع

(*) Getting Shorter With Age

(1) combination

تتقاصر مع العمر(*)

إن منطقة من الصبغي متفردة في قابلية تعرفها ـ النمط الفرداني ـ وتحيط بطفرة منشئة تتقاصر مع الأجيال بسبب تمازج الصبغيات بسيرورة تعرف بالتأشيب. ففي هذا المثال، يحوي الصبغي الأصفر في المنشئ الطفرة المنشئة، في حين أن الصبغي الأزرق أتى من والد سوي. وعندما يُنتج المنشئ نطافًا أو بيوضا، فإن الصبغيين يتبادلان قطعًا. إن النسل الحامل يرث صبغيا جديدا مزيجا، يشتمل على الطفرة وعلى أقسام أخرى من النمط الفرداني للمنشئ (*الناحية الصفراء*). ويؤدي التمازج الصبغي عبر الأجيال، وعلى نحو محتوم، إلى نمط فرداني متقاصر.

الصبغي المعتل
الصبغي السوي
نشوء الطفرة
المنشئ
التأشيب
الانتقال إلى الجيل التالي
الطفرة
النسل الحامل
الانتقال إلى الجيل التالي
الطفرة
الحفيد الحامل
التأشيب عبر أجيال عديدة
الطفرة
الحامل الحالي

السكانية غير الإفريقية، ولم يُعثر قط على هذا الشكل في مستوطني العالم الجديد، في حين أن الأشكال الأربعة الأخرى بقيت حصرا إفريقية.

وتزودنا طفرة غير متذوقي المادة PTC بكمية استثنائية من المعلومات ذات الصلة بالهجرات البشرية المبكرة. ويؤكد توزع هذه الطفرة وتواترها الدليل المنبثق عن الأنثروبولوجيا (علم دراسة الإنسان) وعلم الآثار القديمة، على أن الجماعات السكانية الأصلية للإنسان الحديث عاشت أولا في إفريقيا، ثم نشأت، قبل 000 75 عام، جماعة صغيرة جدا من هؤلاء الإفريقيين، وانتشرت عبر القارات الخمس ـ فرضية «**الخروج من إفريقيا**» Out of Africa. ولقد تحدرت كل الجماعات السكانية الحالية غير الإفريقية من هذه الجماعة الصغيرة. ولكن إضافة إلى تأكيد بيانات سابقة، فإن الشكل غير المتذوق يساعد على الإجابة عن أحد الأسئلة الأكثر إثارة للجدل في الإنثروبولوجيا المعاصرة.

هل تهاجَن أسلافنا من الإنسان العاقل في أثناء انتشارهم عبر العالم مع أشكال شبه بشرية أكثر قدما، التقوها في أوروبا وآسيا؟ يُفترض أن أشباه الإنسان القدماء كانوا على نحو مؤكد تقريبا يمتلكون الأشكال الخاصة بهم من جينة PTC، تم انتقاؤها كاستجابة للسموم الطبيعية الموجودة في الفلورة (النبيت) المحلية. فإذا ما أنتج أشباه الإنسان الآخرون أعقابا من الإنسان العاقل المتزاوج معهم، سنتوقع عندئذ أن نجد أشكالا مختلفة من جينة PTC في المجاميع السكانية الأوروبية أو الشرق أسيوية أو الجنوب شرق أسيوية. ولكن يوجد غياب واضح لمثل هذا المتغير. لذا، فإننا نعتقد أن تفحص الطفرات المنشئة في البشر الأحياء حاليا، يوضح أنه لم يحدث تهاجن ناجح بين إنسان اليوم وبين جماعات بشرية أخرى في أثناء هذه الهجرة الخارجية الكبرى: أي قبل عشرات آلاف السنين.

إيجاد المنشئ[**]

وتوضح نظرة أكثر دقة للنمط الفرداني الذي يشكل أساس الصُباغ الدموي الوراثي كيف يمكن لاقتران السجلات التاريخية بالتحليل الجيني للجماعات السكانية الحالية أن يزودنا بتبصرات جديدة في أسباب وتاريخ حالة خاصة من الحالات. ففي الثمانينات، وقبل أن يتم تعرف الجينة المسببة للمرض، وجد الطبيون المختصون بالوراثة أن غالبية من لديهم الحالة المرضية تملك عمليا مدا مثيلا من الدنا على قسم من الصبغي السادس. وكانت هذه النتيجة مذهلة، ذلك أن معظم هؤلاء المرضى كانوا ظاهريا عديمي الصلة بعضهم ببعض، وكان من المتوقع أن يمتلكوا فروقا عشوائية في أي منطقة من مناطق التسلسل. وبسبب هذا المد المتفرد من الدنا، أدرك الباحثون أن المرضى الذين لديهم الصباغ الدموي الوراثي كانوا قد تحدروا، في أكثر الاحتمالات قبولا، من سلف مشترك فُقد قبل زمن بعيد، وأن الجينة المسؤولة عن تلك الحالة المرضية تقبع احتماليا في ذلك المد.

وانطلاقا من هذه الفرضية، أنجز فريقنا البحثي في التسعينات تحليلا مفصلا في عدد من المرضى يبلغ 101، للجينات التي

جينات الأمس، طب الغد[*]

تنطوي القدرة على تعرّف الطفرات المنشئة على أهمية استثنائية فيما يتعلق بممارسة الطب. فمثلا، تساعد معرفة هذه الطفرات الأطباء على تعرّف المرضى الذين يجب اختبارهم بشأن أمراض معينة. ويمكن حاليا للأطباء أن يعولوا على إثنية الفرد من أجل أن يحددوا خطورة بعض الأمراض، ولكي يقوموا باختبارات إضافية. وعلى سبيل المثال، نذكر أن معظم مرضى الخلايا المنجلية هم من أصل إفريقي. ولكن مع تزايد التمازج الجيني لأفراد بني البشر، تتزايد الصعوبة في تحديد أصل جغرافي سلفي أو إثنية نوعية لأي فرد من الأفراد. ومع اضمحلال الخلفية الإثنية كمفتاح أو كسبب للأعراض التي يبديها المريض فإن الأطباء، سيعتمدون على اختبار دنا DNA الأفراد أكثر كلما حاولوا تعرف مخاطر المرض أو سبب أعراضه. لذا، فإن العثور حاليا على الطفرات المنشئة في وقت مازالت فيه الجماعات السكانية البشرية متميزة بعضها من بعض جينيا، سيساعد على تعرف جينات معينة مسؤولة عن حالات مرضية عديدة.

وفي الحقيقة، فإنه يمكن النظر إلى الطفرات المنشئة المعروفة على أنها حالات خاصة لمجموعة كبيرة جدا من المتغايرات المسببة للأمراض التي توجد في دنا خلايانا. ومع أننا نجهل حتى الآن طبيعة العديد منها، فمن المرجح أن تكون هذه الطفرات قديمة الأصل. وكما لوحظ خلال هذه المقالة، فإن هذه المتغايرات ذات الصلة بالأمراض، كانت احتماليا مفيدة لبني البشر في مواطن أسلافهم، لذا فإنها غدت شائعة في الجماعات البشرية. ولكن لقاء جيناتنا القديمة التي أتت من أمكنة واسعة الانتشار، بالبيئات وأنواع السلوك العصرية ربما أفضى إلى علل تحولت فيما بعد إلى اضطرابات رئيسية.

وسيغدو التقييم الجيني مهمًا في الممارسة الطبية بمعناها الواسع، ذلك أن هذه المتغايرات العديدة ستجعلنا احتماليا متأهبين لاضطرابات شائعة كثيرة، وليس لمجرد أمراض وراثية نادرة. والمثال على هذه المتغايرة الجينية هو تلك التي تجعلنا نصنع الكولستيرول، ولكنها تسهم حاليا في ارتفاع تركيز هذا الكولستيرول، أو تلك التي تساعد على استبقاء الملح، ولكنها أفضت حاليا إلى ارتفاع الضغط الدموي الحساس للملح. إن تمييز السمات الجينية النوعية المرتبطة بحالات شائعة ضارة، سيعني أن الوراثيات ستمضي من كونها تخصصا طبيا فرعيا يهتم باعتلالات نادرة غامضة، لتصبح ذات دور رئيسي في إدارة الأمراض البشرية والوقاية منها وتشخيصها.

<D. دريتا>



تمثل حاليا ملاحظة الإثنية الطريقة السريعة التي يقدر بوساطتها الأطباء خطر أمراض معينة. ومع تزايد تمازج دنا البشرية أكثر فأكثر، فإن الدنا ذاته سيعطي معلومات للأطباء عن تأهب فرد ما للإصابة بهذه الأمراض.

(*) Yesterday's Genes, Tomorrow's Medicine

(**) Finding a Founder

طفرات منشئة جديرة بالملاحظة(*)

الجينة المعتلة	الحالة	أصل الطفرة	الهجرة	الفائدة الممكنة لنسخة واحدة
HFE	حمل الحديد المفرط	أقصى شمال غرب أوروبا	الجنوب والشرق عبر أوروبا	الحماية من فقر الدم
CFTR	التليف الكيسي	جنوب شرق أوروبا/ الشرق الأوسط	الغرب والشمال عبر أوروبا	الحماية من الإسهال
HbS	مرض الخلايا المنجلية	إفريقيا/ الشرق الأوسط	إلى العالم الجديد	الحماية من الملاريا
لايدن FV	تجلطات الدم	أوروبا الغربية	عالمي الانتشار	الحماية من الإنتان spesis
ALDH2	سمية الكحول	أقصى شرق آسيا	الشمال والغرب عبر آسيا	الحماية من الكحولية alcoholism، التهاب الكبد B المحتمل
LCT	تحمّل اللاكتوز	آسيا	الغرب والشمال عبر الأوراس	إتاحة استهلاك الحليب من الحيوانات المدجنة
GJB2	الصمم	الشرق الأوسط	الغرب والشمال عبر أوروبا	غير معروف

يمكننا العثور عليها في الناحية المعنية من الصبغي السادس. كما أننا تفحصنا الدنا في 64 فردا ليست لديهم حالة الصُّباغ الدموي. لقد تشارك معظم المرضى تسلسلا طويلا يصل إلى عدة ملايين من أزواج الأسس. ولكن قلة من المرضى تشاركت جزءا صغيرا فقط من هذا التسلسل. ولدى مقارنتنا قسم الصبغي السادس الذي كان مثيلا في المرضى كافة، وجدنا أن تلك الناحية احتوت 16 جينة، وإن 13 جينة من هذه الجينات تكوّد بروتينات تعرف بالهستونات، وهذه ترتبط بالدنا وتلفه على شكل بنى نقانقية المظهر، تُرى تحت المجهر في أثناء الانقسامات الخلوية. وتكون الهستونات والجينات الخاصة بها عمليا مثيلة في الكائنات الحية جميعها. لذا فقد اعتقدنا أنه من غير المحتمل أن تكون جينات الهستونات متورطة في الصُّباغ الدموي. وترك هذا التحليل ثلاث جينات يمكن أن تكون موضع اهتمامنا.

وتبين أن جينتين من الجينات الثلاث هي نفسها في مرضى الصُّباغ الدموي كافة وفي الأفراد الشاهدة (الضابطة) الصحيحة. ولكننا اكتشفنا في إحدى هاتين الجينتين التي تعرف الآن بالرمز HFE، طفرة توجد في الأشخاص الذين يحملون المرض، وغائبة على نحو واضح في الأفراد الذين ليس لديهم مشكلات ذات صلة بالحديد. لذا، فإن هذه الجينة يجب أن تكون محتوية على الطفرة المنشئة التي تسبب الصُّباغ الدموي الوراثي.

وقادنا اكتشافنا لجينة الطفرة المنشئة مباشرة إلى طرح بضعة أسئلة، أهمها من هو المنشئ؟ ومتى كان يعيش ذلك الشخص؟ وأين؟ إن تعقب الإجابة عن تلك الأسئلة قاد الطبيبين المختصين بالوراثة إلى ضم جهودهم إلى جهود المختصين بالأنثروبولوجيا والمؤرخين،



يُبقي الانتقاء المتوازن جينة ذات إمكان ضار في حالة انتشار دائم. ففي المناطق الموبوءة بالملاريا (البُرداء) التي ينشرها البعوض، يكون لامتلاك الفرد نسخة واحدة من طفرة جينة الهيموكلوبين تأثير واق. إن للأفراد الذين يحملون تلك الطفرة معدلا عاليا من البُقيا (البقاء على قيد الحياة). ولكن الأفراد الذين يرثون نسختين من الطفرة، يقاسون مرض الخلايا المنجلية، ويكون معدل البُقيا لديهم منخفضا. وتفضي هاتان القوتان المتنافستان في السكان إلى مستوى ثابت من طفرة الخلايا المنجلية.

التي أدت إلى إجابات لم تغدُ واضحة إلا مؤخرا. فلقد أظهر المسح أن الصُّباغ الدموي الوراثي يصادف عبر أوروبا جميعها، ولكنه يكاد أن يكون أكثر شيوعا في أوروبا الشمالية. أضف إلى ذلك أن الطفرة المنشئة كانت موجودة عمليا لدى جميع المرضى من الشمال، ولكنها ظهرت في أقل من ثلثي عدد مرضى شرق أوروبا وجنوبها. وتعني هذه النتيجة أن لدى الثلث الآخر طفرة أخرى في الجينة HFE، أو ربما لدى هذا الثلث فعلا اضطراب في استقلاب الحديد إنما مختلف كليا.

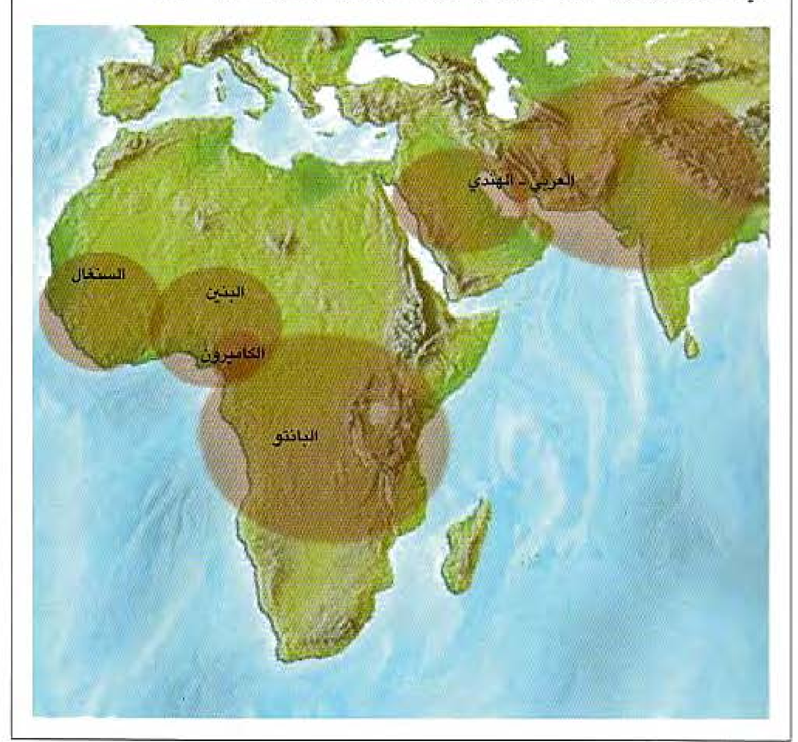
وبتركيز الانتباه على الشمال الغربي لأوروبا، فإن مسوحًا وراثية أكثر تفصيلا كشفت أن التواتر الأعلى للطفرة المنشئة يصادف في إيرلندا وبريطانيا العظمى الغربية وعبر القناة الإنكليزية في المقاطعة الفرنسية بريتاني. إن هذا الطراز يتراكب تراكبا تاما تقريبا مع التوزع الحالي لجماعة خاصة من الناس، هم **السلتيون** Celts.

وقد حكم السلتيون وسط أوروبا أكثر من 2000 عام. وارتحل بعضهم باتجاه الشمال والغرب بتوسيعهم الامبراطورية الرومانية، في حين أن آخرين تمازجوا مع الأوروبيين الجنوبيين واستقروا في موطنهم الأصلي. فهل نشأت الطفرة المنشئة للصُّباغ الدموي في أوروبا الوسطى، ثم انتقلت شمالا مع حامليها المهاجرين، أم أنها نشأت في

(*) Noteworthy Founder Mutations

أصول غير مألوفة(*)

إن لجميع الناس المصابين بمرض الخلايا المنجلية الطفرة ذاتها. ولكن يمكن لتلك الطفرة أن تصادف في خمسة أنماط فردانية متميزة؛ الأمر الذي يشير إلى أن الطفرة نشأت على نحو مستقل في خمسة أوقات مختلفة عبر التاريخ البشري: كما توضح المناطق المبينة على الخريطة. ويمكن للمرضى أن يحملوا النمط الفرداني للسنغال أو البينين أو البانتو أو العرب ـ الهند أو الكاميرون (الذي اكتشف مؤخرا). إن ثمانية في المئة من الأمريكيين الأفارقة تحمل على الأقل نسخة واحدة من طفرة الخلايا المنجلية.



الشمال أصلا؟ لقد أوصلت دراسات إضافية للدنا المجاور للطفرة على الصبغي السادس إلى الإجابة المحتملة.

إن الطول الواسع للنمط الفرداني الحديث الذي يشير إلى أن الطفرة المنشئة حديثة العهد تماما، أتى إلى الوجود قبل 60 إلى 70 جيلا فقط، وذلك قرابة عام 800 بعد الميلاد. وقد يقودنا عمرٌ أقدم إلى الاستنتاج أن المنشئ عاش في أوروبا الوسطى، وأن الطفرة انتشرت شمالا وغربا مع هجرة المتحدرين نتيجة النزعة التوسعية لروما. ولكن الإمبراطورية الرومانية سقطت في عام 800. لذا، فمن المرجح أن تكون الطفرة المنشئة قد نشأت في شمال غرب أوروبا، ثم انتشرت بعد ذلك إلى الجنوب والشرق بوساطة متحدريها المنشئين.

وفي السابق قام المختصون بعلم البشريات، وخاصة <L. كافيلي-سفورزا>، بدراسة أنماط أخرى من متغايرات الدنا بهدف اقتفاء أثر الجماعات السكانية. وتضيف حاليا الطفرات المنشئة بعدا جديدا لدراسات الدنا: إن «تغيير» طول النمط الفرداني يحدد عمر الطفرة، وحساب تواتر النمط الفرداني في الجماعة السكانية يقيس الانتشار الجغرافي للمتحدرين من المنشئ.

ويحمل كل واحد منا بصمات كيميائية حيوية تشهد على حقيقة أن بني البشر كافة هم أفراد عائلة واحدة، يربط بعضهم ببعض إرث مشترك يتمثل بالجينوم البشري. وإضافة إلى تأكيد فرضية «الخروج من إفريقية»، فإن تحليل الطفرات المنشئة قد كشف عن سلسلة نسب مشتركة لمجموعات متنوعة كانت تبدو ظاهريا غير ذات صلة. فمثلا، كشف بحث حديث قام به <B. D. كولدشتاين> [من جامعة ديوك] صلة جينية غير متوقعة بين السلتيين والباسكيين. ومما لا لبس فيه أن الأبحاث الإضافية في الطفرات المنشئة ستكشف عن قرابات جينية أكثر، تمنحنا استبصارات جديدة في التساؤل من أين أتينا، وكيف وصلنا إلى مواقعنا التي نحن فيها. وستكشف هذه الأبحاث أيضا عن قرابات مذهلة، قد تحث على إدراك أعمق للجذور المشتركة لشجرة العائلة البشرية. ■

(*) Uncommon Origins

المؤلف

Dennis Drayna

حصل على الإجازة العلمية من جامعة ويسكونسن ـ ماديسون عام 1975، وعلى الدكتوراه من جامعة هارفرد عام 1981. وأمضى فترة ما بعد الدكتوراه زميلا في معهد هاورد هيوز الطبي في جامعة يوتا، ثم 14 عاما في الصناعات التقانية الحيوية في منطقة بي أريا Bay Area (منطقة الخليج) بسان فرانسيسكو، حيث تعرف عددا من الجينات البشرية المتورطة في أمراض الجهاز القلبي الوعائي والتفاعلات الاستقلابية. وانضم <درينا> عام 1996 إلى المعاهد الوطنية للصحة، حيث يعمل حاليا رئيسا لقطاع المعهد الوطني للصمم وأمراض الاتصال الأخرى. وتتمثل اهتماماته البحثية الرئيسية في وراثيات اضطرابات الاتصال البشرية، وهو عمل اقتضى منه السفر إلى ثمانية بلدان مختلفة في أربع قارات، حيث بحث عن عائلات لديها هذه الاضطرابات. ويستمتع <درينا> في أوقات فراغه بتسلق الصخور والجليديات تسلقا محترفا في أمكنة نائية ناي الطفرات المنشئة في قارات أربع.

مراجع للاستزادة

The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution. Luigi Cavalli-Sforza. Addison-Wesley, 1995.

Out of Africa Again ... and Again? Ian Tattersall in *Scientific American*, Vol. 276, No. 4, pages 46–53; April 1997.

Natural Selection and Molecular Evolution in PTC, a Bitter-Taste Receptor Gene. S. Wooding, U. K. Kim, M. J. Bamshad, J. Larsen, L. B. Jorde and D. Drayna in *American Journal of Human Genetics*, Vol. 74, No. 4, pages 637–646; 2004.

The National Human Genome Research Institute's overview of its International Haplotype Map Project can be found at www.genome.gov/10001688

تسونامي: موجة تغيير[*]

في أعقاب النتائج الكارثية لأمواج المحيط الهندي التسونامية[1] في الشهر 2004/12، صار العلماء ومراكز الرصد والتحذير أكثر أهبة واستعدادا للتنبؤ بمثل هذه الأمواج الرهيبة.

<E. L. جيست> ـ <V. V. تيتوف> ـ <C. E. سينولاكيس>

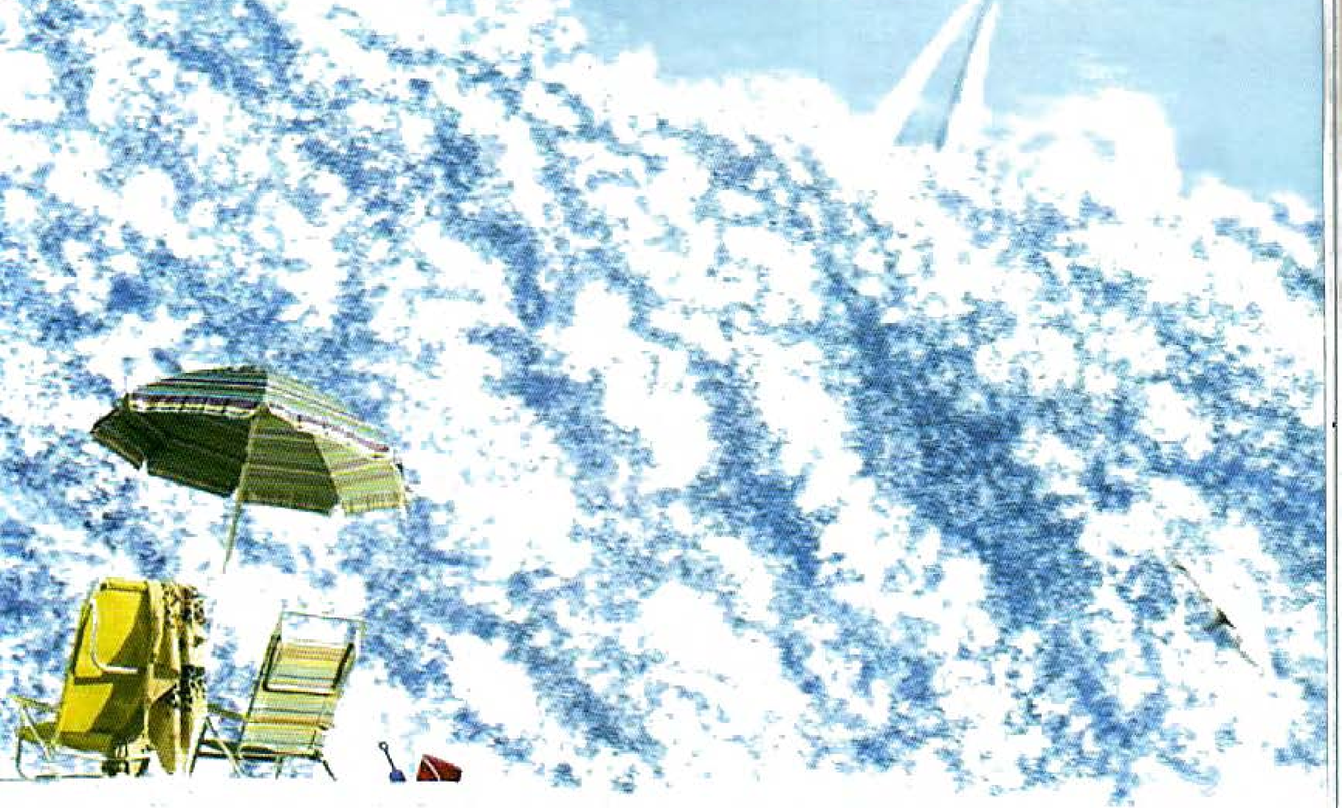
في 2004/12/26، ضربت سلسلة من الأمواج المدمرة كافة شواطئ المحيط الهندي، مسببة أكبر خسارة من أية موجة تسونامية سُجلت حتى هذا التاريخ. دمَّرت الأمواج العاتية المدن والقرى، وتسببت في قتل أكثر من 000 225 نسمة خلال ساعات معدودة وخلّفت على الأقل مليونا من الناس من دون مأوى.

أكدت هذه الكارثة المفجعة الحقيقة المهمة: إنه بازدياد عدد السكان في المناطق الساحلية في جميع أنحاء العالم، تشكل الأمواج التسونامية خطرا أكبر بكثير من ذي قبل. وفي الوقت نفسه، كانت الموجة التسونامية هذه، هي الأفضل توثيقا في التاريخ وكانت فاتحة لفرصة فريدة لنتعلم كيف نتجنب مثل هذه الكوارث في المستقبل. فمن تصوير المياه الموحلة المغرقة للفنادق على شاطئ البحر بوساطة كاميرات الڤيديو المنزلية إلى قياسات الأقمار الصنعية (السواتل) للأمواج المنتشرة على امتداد المحيط المفتوح، أمكن نتيجة لهذا التدفق الكبير من المعلومات إعادة صياغة ما يعرفه العلماء عن الموجة التسونامية بطرق متعددة.

شيء واحد، وهو المنشأ المحير للموجة التسونامية ـ التي اندلعت من مكان كان

(*) TSUNAMI: WAVE OF CHANGE

(1) انظر: «تهديدات الزلازل الصامتة»، العلوم، العددان 7/6 (2004)، ص 42.



يعتقد أن تولُّد الأمواج العملاقة فيه قليل الاحتمال – قد أقنع الباحثين بتوسيع نطاق بحثهم ليتضمن مناطق خطرة محتملة. كما أمدتنا الأرصاد الجديدة بأول اختبار حاسم للمحاكاة الحاسوبية التي تتنبأ بأين سوف تضرب موجة تسونامية ومتى وكيف سيكون سلوكها على الشواطئ. والأكثر من ذلك أن هذه الحادثة كشفت بشكل استثنائي عن التعقيدات الدقيقة للهزة الأرضية وتأثيرها الكبير في حجم الموجة التسونامية وشكلها. وستعمل هذه النماذج التي تم تطويرها من هذه الاكتشافات، إلى جانب أنظمة المراقبة والتحذير الجديدة، على المساعدة على الحفاظ على الأرواح.

قبل الحدث الكبير[*]

منذ فترة طويلة، عرف الباحثون أن أسس تولد معظم الأمواج التسونامية الناجمة عن الهزات الأرضية سببها وجود مناطق فيها انزلاق لحافة صفيحة ما للقشرة الأرضية تحت حافة صفيحة أخرى[1]. هذه المناطق تميزها أخاديد ضخمة في قاع البحر، وتتشكل مثل هذه

(*) Before the Big One
(1) Subduction Zones

المناطق حين تنغمس إحدى الصفائح التكتونية الخارجية للقشرة الأرضية تحت صفيحة أخرى. تعمل قوى الجاذبية وحركة المادة اللزجة في عمق طبقة الدثار الأرضي على تحريك الصفائح بشكل دائم متفادية إحداها الأخرى، لكن الاحتكاك في القشرة السطحية الضحلة يعمل على ربط بعضها ببعض مؤقتا. ونتيجة لذلك يتزايد الإجهاد عبر السطح البيني الواسع أو الصدع بين الصفيحتين. وفي بعض الأحيان يُفرَّغ هذا الإجهاد فجأة على شكل هزة أرضية كبيرة. وتغوص الصفيحة السفلية أكثر نحو الأسفل، دافعة الصفيحة العلوية بحركة خاطفة بعنف إلى أعلى ـ فتنطلق مياه البحر التي تعلوها للجريان بمحاذاتها من دون عوائق. إن حجم الموجة التسونامية الناجمة يعتمد على مدى تحرك قاع البحر. وحالما تتولد الموجة التسونامية فإنها تنقسم إلى جزأين: الأول يتحرك بسرعة باتجاه اليابسة، في حين يتجه الآخر باتجاه المحيط المفتوح.

في المحيط الهندي الشرقي، بعيدا عن الساحل الغربي لسومطرة (أندونيسيا)، تنزلق حافة الصفيحة الهندية أسفل حافة الصفيحة الأوروآسيوية بمحاذاة منطقة سومطرة. وفي الماضي أنتجت الأجزاء الجنوبية لمنطقة الصدع هزات أرضية كبيرة (قوتها 9 على مقياس ريختر)، كانت آخرها في عام 1833. لقد وجد <K. سييه> وزملاؤه [من معهد كاليفورنيا التقاني] أن الشعب المرجانية ارتفعت نتيجة لهذه الأحداث. وكان الخبراء يترقبون حدوث هزة أخرى كبيرة هناك.

وقد احتار هؤلاء الخبراء عندما تولدت الموجة التسونامية المسببة لحادثة الشهر 2004/12 في الجزء العلوي لهذه المنطقة، فقط إلى الشمال الغربي من سومطرة، حيث أوضحت التسجيلات السابقة حركة بطيئة جدا على طول الصدع بعيدا عن الشاطئ. ولذلك، لم يتضح أنه كان بالإمكان أن يتزايد الإجهاد بشكل كاف لينتج مثل هذا الاهتزاز العنيف. ومع ذلك كشف التحليل الأخير أن هزة بقوة 9 على مقياس ريختر رفعت قاع البحر بامتداد 1200 كم بمقدار وصل إلى ثمانية أمتار في بعض المناطق، محررة مساحة في منطقة الصدع تعادل مساحة ولاية كاليفورنيا، ومزيحة بذلك مئات الكيلومترات المكعبة من ماء البحر فوق المستوى الطبيعي للبحر. ونتيجة لذلك، يتوقع الباحثون الآن تهديدات إضافية محتملة لموجة تسونامية قرب ألاسكا وبورتوريكو ومناطق مشابهة في منطقة دخول حافة صفيحة تحت حافة صفيحة أخرى (Subduction Zones) (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*).

بدأت هزة سومطرة-أندامان عند الساعة 7:59 قبل الظهر بالتوقيت المحلي، وأنذرت شبكات الاتصالات العالمية للمراكز الزلزالية مباشرة مركز التحذير الباسيفيكي للتسونامي في شاطئ أيوا بجزيرة هاواي. وعلى الرغم من أن علماء الجيوفيزياء هناك كانوا من الأوائل الذين علموا بالهزة الأرضية من خارج المنطقة، فإنه لم يكن لديهم أية وسيلة لإثبات أن الموجة التسونامية المدمِّرة تتدفق على امتداد المحيط الهندي حتى تلقّيهم نشرة الأخبار الأولى عن استفحال الكارثة.

في المحيط الهادئ (الباسيفيكي)، حيث تحدث 85 في المئة من الأمواج التسونامية في العالم، يمكن لأجهزة الاستشعار عن بعد[1] الموجودة هناك، والتي تعرف بأجهزة قياس التسونامي، اكتشاف أمواج تسونامية بعيدا عن الشاطئ وتحذير علماء المركز الباسيفيكي وأولئك العلماء في المركز الثاني في بالمر بولاية ألاسكا قبل أن تصطدم الأمواج باليابسة [انظر: «تسونامي!»، **العلوم**، العددان 9/8 (1999)، ص 4]. ولكن هذه التقنية لم توجد في المحيط الهندي، ولم توجد خطوط اتصالات لنقل التحذير إلى الناس على الشاطئ. وعلى الرغم من أن الأمواج الأولى استغرقت نحو ساعتين أو أكثر للوصول إلى تايلند وسيريلانكا ومناطق أخرى وضربها بقوة شديدة، فإن الجميع تقريبا أصابتهم الدهشة.

في المحيط المفتوح(**)

ما حدث في ذاك اليوم من الشهر 12 غيَّر وإلى الأبد إدراك العالم مدى الضرر البالغ الذي يمكن أن تسببه الأمواج التسونامية، أين يمكنها أن تضرب، وكم هي كثيرة المجتمعات التي تفتقر إلى الحماية التامة. ومنذ ذلك الحين تدافعت مجموعات عالمية لتصحيح الوضع (*انظر الإطار في الصفحة 40*). وفي الوقت نفسه يقوم الباحثون بالفحص الدقيق للدلائل والمؤشرات التي خلّفتها هذه الكارثة لتفعيل فهمهم عن كيفية نشوء موجة تسونامية وكيفية انتشارها وضربها الشواطئ بعدئذ ـ للقيام بتحذير أفضل عن حادثة قادمة.

خلال خمس عشرة سنة، طوّر الباحثون في اليابان والولايات المتحدة نماذج حاسوبية تحاكي انتشار الأمواج التسونامية خلال المحيط المفتوح. ومن ناحية أخرى، كان عند

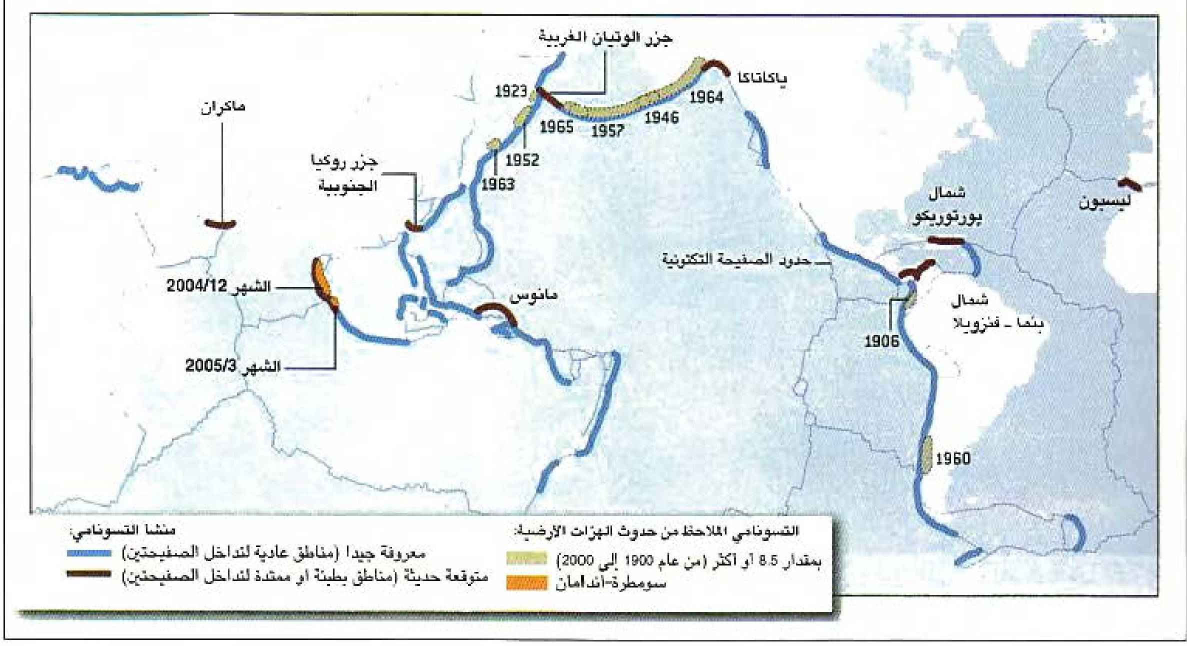
نظرة إجمالية/ تنبؤات مستقبلية(*)

- في أعقاب كارثة الشهر 2004/12 للتسونامي في المحيط الهندي، أدى التدفق الهائل للمعلومات حول الحادثة إلى إعادة صقل فهمنا لمثل هذه الأمواج المرعبة.
- من المعلومات الجديدة، تعلم العلماء كيف يقومون بتنبؤ أفضل عن البقاع التي يمكن أن تنتج موجة تسونامية وأين ستذهب هذه الموجة وإلى أي مدى ستطفو على اليابسة.
- سوف تعمل النماذج الحاسوبية المطوَّرة مع أنظمة التحذير والمراقبة الجديدة على المساعدة على إنقاذ الأرواح.

(*) Overview / Future Forecasts
(**) In the Open Ocean
(1) Remote Sensors

إعادة التفكير في مصادر تسونامي(*)

حدثت الأمواج التسونامية الأكثر حدة المتولّدة من الهزات الأرضية في القرن الماضي (الأشكال البيضاوية القصديرية اللون). حيثما تلاقت صفيحتان تكتونيتان بشكل جبهي فيما يعرف بمناطق subduction zones، حيث حافة صفيحة تكتونية تنزلق تحت حافة صفيحة أخرى (الخطوط الزرقاء). تندفع إحدى الصفيحتين فوق الأخرى، رافعة الأمواج التسونامية معها. ولكن جزءا من الصدع سومطرة-أندرامان، حيث نشأت كارثة المحيط الهندي، لم يكن له أي تسجيل عن هزة أكبر من 8 على مقياس ريختر. وعندما ضربت هزة أرضية بقوة 9 على مقياس ريختر هناك في الشهر 2004/12، تبعتها بعد ثلاثة أشهر هزة أخرى وصلت حتى 8.7 على مقياس ريختر (الأشكال البيضاوية البرتقالية)، بدأ العلماء بإعادة تقييم الصدوع المشابهة المتحركة ببطء لاحتمالية حدوث موجة تسونامية. ويمكن أن تؤخذ مساحات جديدة في الاعتبار (الخطوط الحمراء) بما فيها مناطق ذات معالم ضخمة على أرض البحر، حيث تشكل عائقا في منطقة التقاء الصفيحتين وبذلك تزيد الإجهاد على الصدع.



الباحثين من قبل قليل من الملاحظات للمقارنة بنظرياتهم. وتتطلب جميع النماذج الحاسوبية لانتشار الأمواج التسونامية متغيرين أساسيين للبدء بهما وهما: تقدير موقع ومساحة قاع البحر المشوهة التي يعتمد الباحثون عليها لمعرفة قوة الهزة الأرضية ومركز الزلزال السطحي، وقياس ارتفاع أو سعة الماء المزاح. ويمكن استنتاج المتغير الأخير بكفاءة لزومَ إجراء تنبؤات في الوقت الفعلي فقط وبعد عمل أرصاد مباشرة على الأمواج التسونامية في المحيط المفتوح.

ولكن بالنسبة إلى الأمواج التسونامية الأساسية التي حدثت في الماضي، فقد توافرت للعلماء القياسات التي سجلتها أجهزة قياس المد والجزر قرب الشاطئ أو تلك القياسات التي قدرها المسّاحون من الدمار الذي يسببه الماء على اليابسة. والمشكلة الأساسية تكمن قرب الشاطئ، حيث لا يظهر الحجم الفعلي للموجة التسونامية، وذلك بسبب الأمواج الإضافية المتولّدة من ارتدادات الأمواج التسونامية على الحواجز البحرية أو الالتفاف حول الجزر أو حركة الماء ذهابا وإيابا في الخليج - كل هذا يشكل مؤشرا بالغ التعقيد.

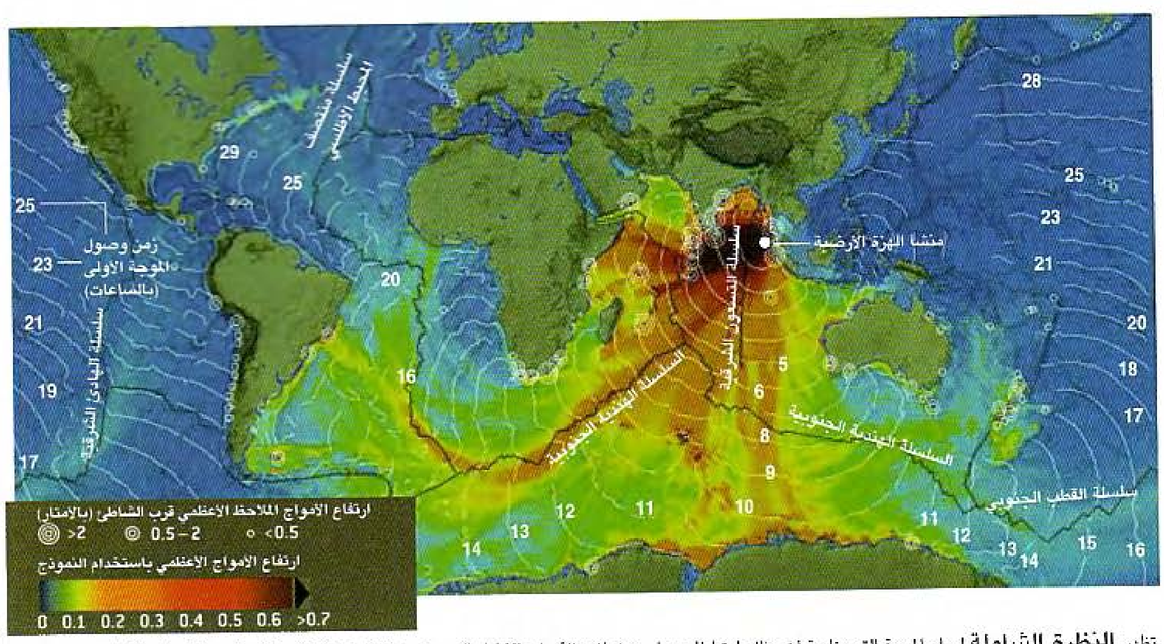
وبمحض المصادفة، أعطت الأقمار الصنعية الثلاثية المخصصة لمراقبة الأرض علماء النمذجة قياسات لارتفاعات الأمواج الأصلية وغير المشوهة واللازمة من أجل نمذجة الموجة التسونامية في المحيط الهندي. وقد حدث أن كانت الأقمار الصنعية تدور فوق المنطقة من ساعتين إلى تسع ساعات بعد الهزة الأرضية، آخذة القياسات الرادارية الأولى للأمواج التسونامية المنتشرة على امتداد المحيط المفتوح. وأثبتت النتائج لأول مرة - وكما جرى توقعه - أن تدفق الماء بارتفاع نصف متر فقط في المحيط المفتوح يمكن أن يتحول فعلا إلى أمواج عاتية تسبب دمارا كبيرا على اليابسة.

أيضا أعطت الأقمار الصنعية التي تدور حول الأرض بسرعة نحو 5.8 كيلومتر بالثانية أول مقطع عرضي للتذبذب في ارتفاعات الأمواج التسونامية، بعد مراقبتها للأمواج بشكل مستمر على طول مسارها وليس عن طريق إجراء القياسات في نقطة محددة فقط، كما هي الحال بالنسبة إلى أجهزة قياس المد والجزر. وكما تبين فإن ارتفاعات الأمواج المقاسة والمنمذجة توافق بعضها مع بعض بشكل جيد تماما (*انظر الإطار في الصفحة 38*) محققة بذلك النظريات العامة حول كيفية تحرك الأمواج التسونامية عبر المحيط المفتوح - ومؤكدة أن النماذج المصاغة حاليا هي أدوات فعّالة من أجل السلامة العامة حتى مع حدوث أكبر موجة تسونامية.

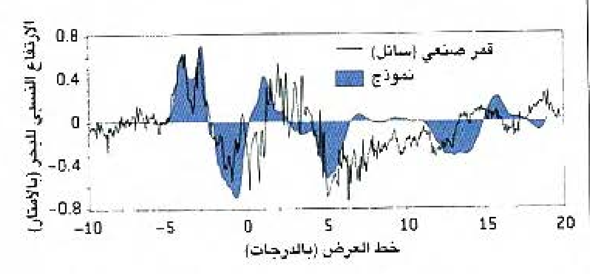
(*) Rethinking Tsunami Origins

التنبؤ بسلوك موجة تسونامية(*)

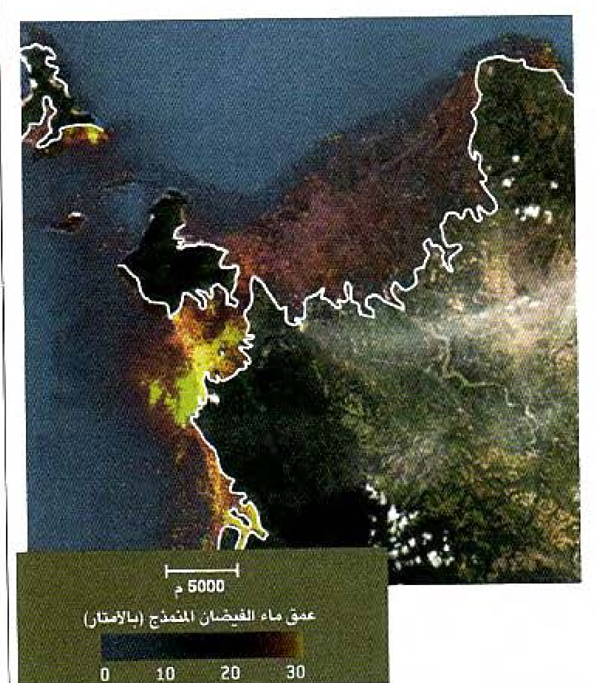
أكدت المشاهدات والملاحظات للموجة التسونامية في الشهر 2004/12 فهم العلماء الأساسي لثلاثة مظاهر مهمة لسلوك موجة تسونامية: كيف تنتشر حوادث كبيرة حول العالم، وكيف تبدو الأمواج في المحيط المفتوح، وإلى أي بُعْد تستطيع هذه الأمواج أن تصعد على اليابسة. وكل صورة تقارن القياسات المباشرة مع القيم المحسوبة بوساطة نموذج تنبؤ التسونامي الرائد للولايات المتحدة، والذي يدعى طريقة انقسام تسونامي (أو MOST)



تظهر **النظرة الشاملة** لمسار الموجة التسونامية أن هناك ارتباطا جيدا بين نماذج الأمواج الأطول البعيدة عن الشاطئ (*الألوان المثيرة*) مع الأمواج الأطول التي قيست بمقاييس المد والجزر قرب السواحل (*الدوائر الكبرى*). أخذت الأمواج الأولى (*الخطوط البيضاء*) نحو 30 ساعة للوصول إلى غرب كندا.



ارتفاعات الأمواج في المحيط المفتوح - المقاسة بوساطة القمر الصنعي (الساتل) جيسون بتدفقها في المحيط الهندي بعد ساعتين من الهزة الأرضية التي سببتها الموجة التسونامية (*الخطوط السوداء*) - تتوافق مع حسابات النموذج (*المساحات الزرقاء*) أكثر مما هو متوقع. تمثل القمم ذرا الموجة، وتمثل الانخفاضات انحدارات الأمواج.



وصلت **مياه الفيضانات للموجة التسونامية** في بعض المناطق شمال مقاطعة سومطرة آكيه الشمالية إلى ارتفاع ثلاثين مترا وتغلغلت حتى 4.5 كيلومتر من اليابسة. ومرة أخرى، توافق النموذج المتوقع للفيضان المحتمل (*اللون العلوي*) بشكل جيد مع القياسات الميدانية ومع صور الأقمار الصنعية لهذه الحادثة (*مناطق تجاه البحر من الخط الأبيض*)

(*) Predicting Tsunami Behavior

حدود الانتشار حول العالم[*]

إن المنظور الشامل لتسونامي يعضد فعالية هذه النماذج من أجل التنبؤ. وحيث إن الموجة التسونامية تتحرك في عرض المحيط بسرعة مقاربة لسرعة الطائرة النفاثة (نحو 500 إلى 1000 كيلومتر في الساعة)، فإن الموجة الأولى لها استغرقت أقل من ثلاث ساعات لتنتقل شرقا من سومطرة الشمالية وجزر أندامان إلى ميانمار (بورما) وتايلند وماليزيا، وغربا إلى سيريلانكا والهند وجزر المالديف. وبعد إحدى عشرة ساعة ضربت الشاطئ الإفريقي الجنوبي على بعد 8000 كيلومتر، وهي أبعد نقطة سُجلت فيها حادثة وفاة واحدة من جراء موجة تسونامية.

ولكن الأمواج لم تتوقف هناك، وفي الوقت نفسه الذي تصدرت فيه الكارثة الأخبار، بدأ العلماء بأخذ التسجيلات من محطات قياس المد والجزر حول العالم. وفي مسارها باتجاه الغرب، انعطفت الموجة التسونامية حول الطرف الجنوبي لإفريقيا، ثم انقسمت إلى قسمين عند انفصالها باتجاه الشمال في المحيط الأطلسي[1]: القسم الأول اتجه نحو البرازيل والقسم الآخر اتجه نحو نوفاسكوتيا. وفي مسارها باتجاه الشرق، تسارعت الموجة التسونامية خلال الفتحة بين أستراليا والقارة القطبية الجنوبية وتوغلت في المحيط الهادئ إلى حد بعيد باتجاه الشمال حتى كندا. فمنذ ثوران بركان كراكاتو في عام 1883 لم تعرف أية موجة تسونامية من النوع الذي يقطع مثل هذا البعد وهذه المسافات.

عندما تم رسم المسار الكامل لموجة تسونامية على المحاكي الحاسوبي المتطور لإدارة المحيطات والأرصاد الجوية الوطنية، والذي يدعى MOST (اختصارا لطريقة انقسام تسونامي Method of Splitting Tsunami)، تطابقت ارتفاعات الأمواج المحاكية بشكل تام مع القياسات عند محطات قياس المد والجزر المختلفة.



السكة الحديدية المفتولة قرب مجمع سينكم في الساحل الجنوبي الغربي في سيريلانكا، حيث أخرجت موجة تسونامية في الشهر 2004/12 قطارا للركاب من ثماني عربات عن القضبان مسببة قتل نحو 1500 شخص.

وأكثر من ذلك، ما كشفه النموذج عن كيفية تمكن الموجة التسونامية من الانتقال لهذه المسافة البعيدة. وأظهرت خريطة ارتفاعات الموجة المحاكية لحادثة المحيط الهندي أنها كانت الأعلى في منتصف المحيط على امتداد السلاسل المرتفعة في قاعه. هذه السلاسل المرتفعة، التي تربط بين أحد الأحواض في المحيط والحوض المجاور، تبدو وكأنها توجه طاقة الموجة أبعد عما يمكن أن تنتقل إليه. ومعرفة هذا التأثير يكون مهما من أجل التنبؤ، لأنه يُمكن لخبراء النمذجة أن يخمنوا بشكل أفضل المكان الأكثر احتمالا لأن تذهب إليه الموجة الأقوى في طاقتها.

الآثار المباشرة للكارثة[**]

إن التحدي الأكبر هو التنبؤ بكيفية سلوك موجة تسونامية حالما تغمر الشاطئ. وكما يحدث دائما في الأمواج التسونامية، فإن أمواج حادثة الشهر 12 تباطأت تدريجيا بدخولها المياه الضحلة. ومع استمرار تتابع وصول الأمواج إلى الشاطئ، فإن المسافة بين قمم الأمواج، والتي كانت تقدر بمئات الكيلومترات في المحيط المفتوح، انخفضت إلى ما بين 15 و 20 كيلومترا. ولكن مع وجود الماء الجارف الذي ظل يدفع من الخلف، فإن قمم الأمواج أخذت تعلو وتعلو أكثر حتى وصلت إلى ارتفاع أكثر من 30 مترا في مقاطعة أكيه بسومطرة، وهي أول منطقة تلقت الضربة.

وباستمرار تحركها بسرعة في حدود 30 إلى 40 كيلومترا في الساعة، فإن الأمواج اجتازت اليابسة لمسافة أكثر من أربعة كيلومترات في أجزاء من مدينة أكيه باندا (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وانحسرت الأمواج بالعنف نفسه، حاملة ولمسافة بعيدة في البحر أي شيء أخذته في طريقها عندما كانت متجهة نحو اليابسة. ضربت الأمواج السواحل على طول حافة الشاطئ المغمور بشكل استمر لساعات. وخلال ثلاثين دقيقة أو أكثر بين تواتر القمم الموجية، عاد لسوء الحظ عدد من الناس إلى السواحل ليتعرضوا لهجمات الأمواج المتلاحقة. إن محصلة الدمار الذي لحق بالبيئة الطبيعية كانت ضخمة جدا إلى الحد الذي مكن رواد الفضاء من مشاهدته، كما كان الدمار

(*) Global Reach

(**) Immediate Aftermath

(1) أنظر: «*أمواج تسونامية: أخطار في المحيط الأطلسي وفي البحر الأبيض المتوسط*»، **العلوم**، العددان 2/1 (2005)، ص 2.

تحذيرات للمستقبل(*)

قبل حادثة الشهر 2004/12، لم يكن في المحيط الهندي نظام تحذير لتسونامي. ومنذ ذلك الحين، تسابقت عدة مجموعات عالمية بمساعدة هيئة اليونسكو لوكالة علم المحيطات للتعاون بين الحكومات، لحل هذه المشكلة. وللوصول إلى إمكانية المراقبة التي تتوافر حاليا في المحيط الهادى، يحتاج المحيط الهندي إلى ثلاثة مركبات تقنية تصلح للأحواض الواسعة، وهي: محطة زلازل متطورة لتحديد مكان الهزة الأرضية الكبيرة، وعلى الأقل خمسة أجهزة قياس للتسونامي (*في اليسار*) لتتبع الأمواج التسونامية عند انتقالها على امتداد المحيط المفتوح [على الرغم من أنه يحتاج إلى 13 من هذه الأجهزة لتتبع موجة تسونامية في أقل من ثلاثين دقيقة] وشبكة قرب الشاطئ لأجهزة قياس المد والجزر حال حدوثها.

في السنة الماضية (2005) أُتخذت خطوات مهمة، تم إنشاء شبكتي زلازل - إحداهما جديدة بشكل كامل - ترسلان الآن تقارير بشكل تلقائي إلى المراكز الزلزالية القومية في أندونيسيا وماليزيا، والأخرى ستكون بياناتها متاحة على وجه السرعة للمنطقة بكاملها. تم تحديث أربعة أجهزة قياس للمد والجزر من أجل مراقبة التسونامي، بما فيها واحدة قرب أندونيسيا، وهي تقع بالقرب من الصدوع المولّدة للأمواج التسونامية الرئيسية. إن أكثر من 20 منشأة إضافية وتحسينات جرى جدولتها لتنفيذها في الأشهر القادمة.

إنه من غير الواضح كيف ومتى يمكن حيازة أجهزة قياس الأمواج التسونامية اللازمة، ويجب التغلب على التحديات السياسية بين دول معينة قبل أن تُستكمل شبكة الزلازل. ولكن موظفي اليونسكو مازالوا متفائلين. فإذا جرى كل شيء بشكل جيد، فإن نظام المراقبة الأساسي سيبدأ العمل في الشهر 7، ويجب أن تدمج النماذج الحاسوبية هذه القياسات لتؤدي برامجها إلى تحذيرات دقيقة.

حالما تصبح التحذيرات متاحة، يجب أن تذاع على الناس على السواحل، فالموجة الأولى لن تصل قبل ساعتين أو أكثر. وعلى معظم ساحل المحيط الهندي بطول 66 000 كيلومتر - وهذا وقت كاف لمعظم الناس للتحرك داخل اليابسة بعد سماع صوت التحذير. أما في بعض الأمكنة التي تضربها الأمواج التسونامية خلال ساعة أو أقل، فإن التحذير قد يأتي متأخرا جدا. وعوضا عن ذلك يجب على المواطنين أن يتنبهوا للمؤشرات الطبيعية - مثل الهزات الأرضية العنيفة وانحسار المحيط، ويكاد جميعها يسبق الفيضان.

ومن الضرورة في كلتا الحالتين، الإخلاء السريع إلى مناطق آمنة معروفة سلفا. وقد أجرى المسؤولون المحليون تدريبات في بعض أجزاء من تايلند وسيريلانكا وأندونيسيا التي ضُربت بقوة في عام 2004.

<V.V.T. - E.L.G. - C.E.S.>

يظهر مقياس تسونامي جهاز ضغط على قاع البحر الذي يرسل إشارة صوتية إلى عوامة على السطح عندما يتحسس مرور موجة تسونامية. عندئذ تتابع العوامة التحذير وتبثه عن طريق الأقمار الصنعية (السواتل) إلى المسؤولين عن إطلاق التحذير.

أيضا متغيرا إلى حد كبير.

وكيف يمكن للنماذج التنبؤ بمثل هذه التغيرات بصورة واقعية مع الأخذ في الاعتبار العوامل الكثيرة المتضمنة؟ حتى بداية التسعينات وبسبب التعقيدات الحاسوبية التي لم تجد حلا حينذاك، لدرجة أن أفضل المحاكيات الحاسوبية انتهت حساباتها عند حافة الماء أو بالكاد قرب الشاطئ. استخدم الباحثون الارتفاع الأخير لتقدير مدى الغمر على اليابسة الذي يمكن لموجة تسونامية أن تقوم به. ولكن المسح الأولي الدقيق لكارثة التسونامي أثبت أن التخمينات كانت بعيدة عن الواقع تماما؛ أما بالنسبة إلى الموجة التسونامية التي ضربت نيكاراغوا في عام 1992، فلقد أجرى العلماء للمرة الأولى القياسات الميدانية الشاملة للمقارنة بالقيم المتوقعة من النموذج. ولكن مستويات الفيضان الحقيقية كانت في بعض المناطق قد وصلت إلى عشرة أضعاف في العلو أكثر من القيم المتوقعة من النماذج.

ومن ثم نشأ نوع من التسابق بين خبراء النمذجة اليابانيين والأمريكيين ساعين لوصف الغمر بشكل أكثر دقة، وذلك عن طريق حساب التطور الكامل لموجة تسونامية على اليابسة. ومن خلال الجمع بين التجارب المختبرية على مقياس واسع والقياسات الميدانية للأمواج التسونامية المتتابعة، قام الباحثون بتدقيق نموذج TSUNAMH-N2 الياباني ونموذج U.S. MOST الأمريكي حتى تمكنوا من مطابقة تشكيلات المناطق المغمورة لمعظم الأمواج التسونامية الماضية بشكل جيد، وهذا يمكن تحقيقه مادامت البيانات ذات الدقة العالية المتعلقة بالمعالم الطوبوغرافية للساحل وعلى بعد من الشاطئ متوافرة. ومع ذلك، لم يعلم الباحثون أن هذه النماذج صالحة للعمل في تحليل الأمواج التسونامية الأكبر. وكما تبين فلقد طابقت هذه النماذج فيضان المحيط الهندي بشكل أفضل مما كان متوقعا، على الرغم من النقص النسبي لمعالم طبيعة الأرض على الشاطئ.

لوحظ سريعا من عمليات المسح بعد الموجة التسونامية في أندونيسيا ومناطق أخرى أن تنبؤات مدى عمق مياه الفيضان وحده لا يمكن أن تُعطي التأثير

(*) Warning for the Future

اختلافات مذهلة(*)

في 2005/3/28، وبعد ثلاثة أشهر على الهزة الأرضية المولدة للموجة التسونامية في الشهر 2004/12، ضربت الصدع نفسه هزة أرضية ثانية كبيرة. الأمواج الأولية التي ولدتها الهزتان كانت ثمانية أمتار في الشهر 2004/12 و 3.5 متر في الشهر 2005/3، جرى تكبيرهما من أجل المقارنة في الشكلين الموضحين في الأسفل. ومن خلال الدراسات المفصّلة، كشف الباحثون عن أربعة أسباب أساسية لهذا التباين غير المتوقع.

أولا، أطلقت هزة الشهر 2005/3 نسبة من الطاقة مقدارها 1/15 من الطاقة التي أطلقتها سابقتها (كان مقدار الهزة 8.7، أما مقدار هزة الشهر 12 فكان 9). ثانيا ضربت على طول الجزء الأعمق من الصدع (الأحمر)، لذلك حدث من كمية الطاقة المنطلقة باتجاه الأعلى خلال طبقات المياه التي تعلوها. ثالثا، حدثت تحت مياه ضحلة، وبذلك رفعت حجما أقل من الماء. أما في الشهر 2004/12 فتشكل جزء من الموجة التسونامية فوق أخدود سوندا العميق. وأخيرا، ضربت مسافة تقدر بنحو 100 كيلومتر أبعد إلى الجنوب، وبذلك فإن أمواجها المتجهة إلى الشرق ضربت سومطرة التي حمت بدورها تايلند وماليزيا، وأمواجها المتجهة نحو الغرب اتجهت نحو البحر؛ أما في الشهر 2004/12 فضربت كلتا الموجتين الشرقية والغربية الكتل الأرضية القريبة.





الكامل لموجة تسونامية. وفي عدة أمكنة محلية من تايلند وسيريلانكا كان عمق موجة التسونامي على الأرض أقل من 4.5 متر، ومع ذلك كان الدمار يضاهي الدمار في أكيه، حيث كان عمق الماء أكثر بنحو ستة أضعاف. والحقيقة المُرّة الأخرى كانت في باندا أكيه، حيث حطمت الأمواج المنشآت الخرسانية المسلحة، كتلة بعد أخرى، والتي من المحتمل أن تكون قد قاومت الهزات الناجمة عن الزلازل.

ولتحديد مقدار الحطام، ابتكر العالم «أحمد يالسنر» [من جامعة الشرق الأوسط التقنية في أنقرة، تركيا] وواحد منا (سينووليكس) أنظمة جديدة بالمقياس المتري لتحديد الدمار - وهي أنظمة يستطيع أن يستخدمها مهندسو البحرية لتخمين قوة الأمواج التسونامية على المنشآت، والتي تأخذ بعين الاعتبار التيارات القوية، وهي أقوى في فيضانات الموجة التسونامية منها في تيارات المد والجزر العادية وأمواج العواصف.

مفاجآت مقلقة(**)

اللغز العلمي الكبير القابل للمناقشة والمتعلق بالموجة التسونامية في المحيط الهندي هو الهزة الأرضية نفسها. حتى قوة الهزة الأرضية لاتزال في طور النقاش والجدل مع بعض التقديرات التي تصل إلى الدرجة 9.3 على مقياس ريختر. وعلى الرغم من أن هذه الهزة الزلزالية كانت الأكبر منذ هزة ألاسكا في عام 1964، فقد يكون ثمة تحدٍّ لوصف كيف يُحدث صدع سومطرة-أندامان تلك الموجة التسونامية الضخمة.

وبأي معيار كان، فقد اعتبرت هذه الهزة الأرضية معقدة بشكل هائل. وبالتحديد يكون انزلاق الصدع هو الأكبر قرب مصدره منذ البداية، ومع ذلك في بعض الحالات يبدأ انكسار الصدع بالانزلاق بمعدلات صغيرة، موحيا أن الهزة الأرضية قد تكون صغيرة، ثم يضرب الجزء الضعيف أو الجزء الشديد الإجهاد من الصدع والذي يجعله مخلخلا بشكل عنيف، مسببا بذلك هزات أرضية وأمواج تسونامية أكبر، وهذا ما حدث في الموجة التسونامية لعام 2004. إن تحليل مثل هذه الحالات في الوقت المناسب يشكل تحديا كبيرا لعمل التحذير المفيد.

وضعت نماذج التنبؤ بموجة تسونامية التابعة لإدارة المحيط والأرصاد الجوية الوطنية (NOAA)[1] في المحك من أجل هذه الأحداث المربكة. إن تحليل النموذج بالاعتماد على المعلومات الزلزالية فقط يؤدي إلى تقدير أقل عشرات المرات أو أكثر لارتفاعات الموجة التسونامية في المحيط المفتوح. لكن بإضافة نتائج القياس الأولي المباشر لارتفاع الموجة التسونامية، والتي وصلت للعلماء من محطة قياس المد والجزر في جزيرة كوكوس بعد حدوث الهزة الأرضية بنحو ثلاث ساعات ونصف، تحسّنت النتائج بشكل كبير، ولكن ما زال هناك شيء غير معروف.

وبعد أيام على حدوث الهزة الأرضية، أشارت تحليلات الأمواج الزلزالية القوية إلى أن انكسار الصدع المبدئي تسرّع باتجاه

(*) Shocking Differences
(**) Shaking Surprises
(1) National Oceanic and Atmospheric Administration

الشمال من سومطرة بسرعة 2.5 كيلومتر في الثانية. وحددت هذه التحليلات مساحات الانزلاق الأكبر، ومن ثم تَوَلُّد أكبر الأمواج التسونامية. وكانت المشكلة التي واجهت خبراء نمذجة الموجة التسونامية هي أن أيا من هذه الحلول الزلزالية لا يتضمن حركة الصدع الكلية بشكل كاف لكي تطابق أرصاد الأقمار الصنعية لارتفاعات الموجة في المحيط المفتوح أو الفيضان الخطير في باندا أكيه.

أتى مفتاح الحل الحاسم من المحطات الأرضية التي تستخدم نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)[1] لتتبع التحركات الأرضية الأكثر بطئا مما تنتجه الأمواج الزلزالية. كشفت هذه القياسات أن الصدع استمر بالانزلاق، ولو بشكل بطيء، بعد أن توقف عن إصدار الطاقة الزلزالية. وعلى الرغم من ذلك فإن هناك حدا لمدى بطء انزلاق الصدع واستمرارية توليده لموجة تسونامية. ومن المرجح كثيرا أن هذه الظاهرة التي لا يلتفت إليها في الغالب، وتدعى ظاهرة ما بعد الانزلاق، يعزى إليها ارتفاعات الموجة التسونامية المفاجئة. إذا كان الأمر كذلك، فإن الإلمام بالقراءات المستمرة للنظام GPS يمكن أن يشكل العنصر المهم لأنظمة التحذير من الموجة التسونامية في المستقبل.

تضرب أو تخطئ[*]

من الواضح أن عوامل معينة في أية هزة أرضية تؤثر ضمن حدود مخيفة في الأمواج التسونامية. ومما يؤكد هذه النقطة أن كوكب الأرض أنتج اهتزازا هائلا على امتداد الصدع نفسه في 2005/3/28. وحدث الانكسار المبدئي على مسافة مساوية من شاطئ سومطرة، ويفترض أنه على العمق نفسه تحت أرض البحر مثلما حدث في هزة الشهر 2004/12. وكلتا الهزتين كانت ضمن أقوى 10 هزات أرضية مسجلة منذ عام 1900، ومازالتا تولّدان أمواجا تسونامية مختلفة بصورة أساسية.

وبمشاهدتهم ظهور هزة الشهر 2005/3 بشكل فجائي على شاشاتهم الحاسوبية، بمقدار 8.7 على مقياس ريختر، توقع العلماء في مركز التحذير الباسيفيكي للتسونامي وأمكنة أخرى حدود آسيا وأفريقيا حيث دمار شديد الخطورة من اهتزاز الأرض العنيف ولكن بدون تقارير فورية عن الدمار الناتج من موجة تسونامية. وعندما مسح الفريق العالمي [بمن فيهم واحد منا (تيتوف)] المنطقة بعد نحو أسبوعين، وجدوا أن ارتفاعات الموجة التسونامية وصلت أربعة أمتار، ولا تزال في جوهرها مميتة. وذكر بعض الأندونيسيين أنهم تعلموا من خبرتهم الأولية وركضوا باتجاه اليابسة بعيدا عن الساحل عندما اهتزت الأرض. وكان الإخلاء الأفضل هو السبب الوحيد في التخفيف من الخسائر البشرية في تسونامي الشهر 3.

أوحى تحليل الهزات الارتدادية في هزة الشهر 2004/12 للباحث <A. نيومان> [من معهد جورجيا التقاني] وللباحثة <S. بليك> [من معهد مكسيكو التقاني للمناجم] أن الصدع قد انزاح قرب الأخدود العميق في ذلك الوقت، وهكذا كان واقعا تحت مياه أكثر عمقا من الجزء الرئيسي للصدع الذي انزلق في الشهر 2005/3. ولذلك كانت للموجة التسونامية في الشهر 2004/12 فرصة أكبر لتزداد ارتفاعا خلال انتقالها من المياه العميقة إلى الشاطئ. إضافة إلى ذلك، وبشكل مخالف لتسونامي الشهر 2004/12 فإن حركة الصدع في الشهر 2005/3 حدثت تحت جزر نياس وسيمولو، وبذلك حدّت من كمية الماء التي كان يمكن أن تزيحها القشرة الأرضية عند ارتفاعها.

وأدى الفرق البسيط في ميل الصدع إلى تقدم أمواج تسونامية بوجه عام في اتجاهين مختلفين. فبالنسبة إلى هزة الشهر 2005/3، ضربت الأمواج المتجهة شرقا جزيرة سومطرة، التي أعاقت كثيرا من طاقة الموجة في التحرك باتجاه تايلند وماليزيا. واندفعت الأمواج المتجهة غربا إلى المحيط المفتوح إلى الجنوب الغربي متجاوزة بشكل كبير سيريلانكا والهند وجزر المالديف، التي عانت كلها بشكل مرعب في الشهر 2004/12. هذه الأمثلة توضح الأهمية الخطيرة لما يمكن أن تفعله تغيرات صغيرة في موقع الهزة الأرضية.

على الرغم مما يتبقى من شكوك علمية قد تظل على الدوام محيطة بمثل هذه الظاهرة المعقدة، فإن علم تسونامي الجديد أصبح جاهزا للتطبيق. والتحدي الأكبر لإنقاذ الأرواح هو تطبيق المنجزات العلمية في عمليات التعليم والتخطيط والتحذير المناسبة. ■

(*) Hit or Miss
(1) Global Positioning Systems

المؤلفون

Eric L. Gest - Vasily V. Titov - Synolakis

يمثلون تنوعا من الخبرات لدراسة الأمواج التسونامية. جيست باحث جيوفيزيائي من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية في متنزّه منلو بكاليفورنيا. وقد استخدم المحاكيات الحاسوبية لدراسة كيفية تأثير التعقيدات المتأصلة بمناطق تداخل الصفائح في نشوء موجة تسونامية. وطوّر تيتوف في إدارة المحيطات والأرصاد الجوية الوطنية (NOAA) النموذج الحاسوبي الرئيسي للتنبؤ بالأمواج التسونامية. وهو أحد أكبر خبراء النمذجة لوكالة برنامج البحث عن تسونامي في سياتل، كما أنه أستاذ مساعد في جامعة واشنطن. وأما سينولاكيس فيقوم بإدارة مركز التسونامي لجامعة كاليفورنيا الجنوبية، وهو الذي أسس هذا المركز في عام 1995. ويتضمن عمله حاليا المسح الميداني لدمار التسونامي والنماذج المختبرية على مقياس واسع لأمواج تسونامية ومحاكيات حاسوبية للطوفان على طول السواحل المعرضة لتسونامي، بما في ذلك سواحل كاليفورنيا.

مراجع للاستزادة

Furious Earth: The Science and Nature of Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis. Ellen J. Prager. McGraw-Hill, 2000.

A companion article on land use and tsunamis, called "Echoes from the Past," is available at www.sciam.com

National Oceanic and Atmospheric Administration tsunami pages: www.tsunami.noaa.gov/

University of Southern California Tsunami Research Center: http://cwis.usc.edu/dept/tsunamis/2005/index.php

U.S. Geological Survey Tsunami and Earthquake Research: http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/

قبيل الخيال العلمي.

وفيما عدا هذه الومضات الإعلامية، لم تعد أعمال «دلگادو» تلقى المبالاة التي حظيت بها ذات يوم. ومع أنه استمر ينشر مقالات له، وبخاصة حول تأثيرات الإشعاع الكهرمغنطيسي على **المعرفية** cognition والسلوك والنمو الجنيني، فإن العديد منها لم يظهر إلا في المجلات الأسبانية. وفضلا على ذلك فإن دراسات التنبيه الدماغي التي سبق أن أجراها (دلگادو) في الولايات المتحدة غاصت في مستنقع النقاشات الأخلاقية ونضوب الهبات المالية وتحول الباحثين إلى تخصصات أخرى، لاسيما الفارماكولوجيا النفسية التي يبدو أنها طريقة أكثر أمانا وفعالية في معالجة اعتلالات الدماغ من التنبيه الدماغي أو الجراحة الدماغية. ولم تتجدد أبحاث الاغتراس الدماغي إلا في القرن العشرين، بعد أن استنهضتها الإنجازات المتقدمة في أصعدة الحوسبة والإلكترودات والإلكترونيات الميكروية وتقانات المسح الدماغي وفي التعرف المتنامي لحدود العقاقير في معالجة الأمراض العقلية.

يعتقد «دلگادو» (الذي توقف عن إجراء الأبحاث في أوائل التسعينات من القرن العشرين، ولكنه ما زال يتابع مجال التنبيه الدماغي) أن الباحثين الحاليين أخفقوا في سرد دراساته، ليس لكونها مثار خلاف، بل بسبب جهلهم فحسب. وبعد هذا كله، فإن قواعد البيانات الحالية لا تتضمن أبحاثا علمية نشرت في ريعان شبابه. لقد استثاره انتعاش البحث بخصوص التنبيه الدماغي مجددا، لأنه حتى الآن مؤمن بإمكاناته على تحريرنا من الاعتلالات المرضية النفسية ومن العدوانية الفطرية بداخلنا. وهو يقول: «أعتقد أننا في المستقبل القريب سوف نمد يد العون إلى العديد من البشر، وبخاصة عبر الطرائق **غير الباضعة** noninvesive.»

واجه خلفاء «دلگادو» بعضا من الأسئلة ذاتها التي واجهها «دلگادو» نفسه حول **إساءات الاستعمال** abuses الممكنة للتقانة العصبية. فبعض النقاد أعربوا عن قلقهم من أن الشيبات الدماغية قد تسمح لتحكم عضوي بأن يعبث بمكونات الدماغ. حسب قول «W. سافير» [الكاتب في صحيفة نيويورك تايمز]. ومؤخرا عكست افتتاحية في مجلة *Nature* قلقها من أن مسؤولين في وكالة مشاريع الأبحاث الدماغية المتقدمة (وهي ممول رئيسي لأبحاث الاغتراس الدماغي) قد درسوا بشكل علني اغتراس شيبات دماغية في الجنود لتحسين قدراتهم المعرفية. وفي غضون ذلك يجادل بعض المتحمسين التقانيين، من أمثال عالم الحاسوب البريطاني «K. وورْويك»، بأن مخاطر الشيبات الدماغية أقل بكثير من الفوائد المحتملة التي سوف تتضمن **تنزيل** down loading **لغات** أو مهارات جديدة بشكل فوري والتحكم اللحظي في الحواسيب وأجهزة أخرى عبر أفكارنا، كما تتضمن الاتصال بين شخص وآخر بالتخاطر البعيد.

هذا ويتنبأ «دلگادو» بأن التقانات العصبية قد لا تتقدم أبدا إلى الحد الذي يخشاه الناس أو يتمنونه. ويشير «دلگادو» إلى أن التطبيقات التي يتصورها «واروِيك» وآخرون غيره تتطلب معرفة درجة التعقيد التي تتكون بها المعلومات في الدماغ، وهذا هدف بعيد التحقيق على علماء الأعصاب. وأكثر من ذلك، يتضمن تعلم الميكانيك الكمومي (أو لغة جديدة) «تغيير ارتباطات موجودة سلفا بشكل بطيء،» ويتابع «دلگادو» قائلا: «لا أظنك تستطيع فعل ذلك فجأة.» مضيفا إلى ذلك أن التنبيه الدماغي يستطيع فقط تحوير مهارات وقدرات يملكها المرء من قبل.

ولكن «دلگادو» ينظر بعين الريبة إلى اقتراح البيت الأبيض حول **الأخلاقيات الحيوية** Bioethics وبعض الأهداف العلمية، وبخاصة تلك التي تتضمن تغيير الطبيعة البشرية والتي لا يجوز حتى متابعتها. فهو يقول إنه من المؤكد أن التقانة «ذات وجهين: حسن وسيئ،» ويجب علينا أن نفعل ما بوسعنا «لنتفادى عواقبها السيئة»، كما يجب أن نحاول منع إساءة استخدام التقانات المدمرة المحتملة من جانب الحكومات الاستبدادية بقصد اكتساب مزيد من القوة، أو من جانب الإرهابيين بقصد إحداث دمار. ولكن الطبيعة البشرية حسبما يؤكد «دلگادو» مرددًا ما جاء في أحد موضوعات الكتاب «*التحكم البدني*»، ليست راكدة بل دينامية: بمعنى أنها تتغير باستمرار نتيجة **للاستكشاف القسري للذات** compulsive self exploration. ويتساءل «دلگادو»: «هل يمكنكم تحاشي المعرفة؟» لن تتمكنوا! وهل يمكنكم تحاشي التقانة؟ لن تتمكنوا! فالأمور ستسير قُدُما إلى الأمام بصرف النظر عن المبادئ الأخلاقية، وذلك على الرغم من عقائدكم وعلى الرغم من كل شيء.» ■

المؤلف

John Horgan

هو رئيس مركز الكتابات العلمية في معهد التقانة في هوبوكن بولاية نيوجرسي. كان كاتبا خاصا في هيئة تحرير ساينتيفيك أمريكان ما بين عامي 1986 و 1997، وهو حاليا كاتب عام لصالح عدة جهات. ونذكر من كتبه: **نهاية العلم** The End of Science **والعقل غير المكتشف** The Undiscovered Mind **والصوفية المنطقية** Rational Mysticism.

مراجع للاستزادة

Brain Control: A Critical Examination of Brain Stimulation and Psychosurgery. Elliot S. Valenstein. John Wiley and Sons, 1973. (A contemporaneous scientific critique of the work of Delgado and other neuroscientists.)

Controlling Robots with the Mind. Miguel A. L. Nicolelis and John K. Chapin in *Scientific American*, Vol. 287, No. 4, pages 46–53; October 2002.

Rebuilt: How Becoming Part Computer Made Me More Human. Michael Chorost. Houghton Mifflin, 2005. (A personal story on the pros and cons of brain implants.)

The President's Council on Bioethics Web site is at www.bioethics.gov

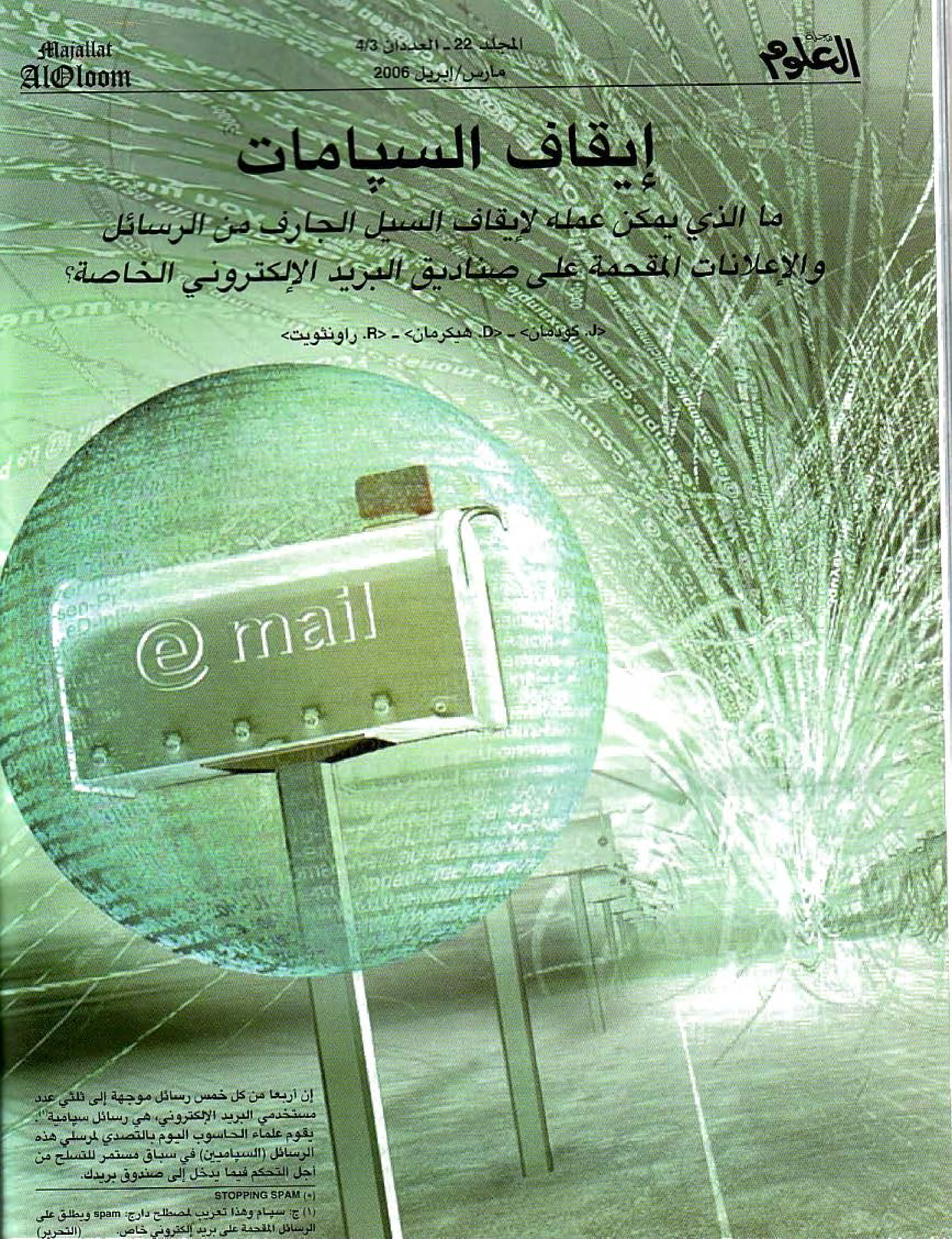
An overview of modern brain stimulation can be found at www.bioethics.gov/transcripts/june04/session6.html

Other Web sites extol the utopian possibilities of brain stimulation, www.wireheading.com, or deplore it as a government mind-control plot, www.mindjustice.org/

مجلة العلوم

المجلد 22 - العددان 4/3
مارس/إبريل 2006

Majallat
AlOloom



إيقاف السپامات

ما الذي يمكن عمله لإيقاف السيل الجارف من الرسائل والإعلانات المقحمة على صناديق البريد الإلكتروني الخاصة؟

<J. كودمان> - <D. هيكرمان> - <R. راونثويت>

إن أربعا من كل خمس رسائل موجهة إلى ثلثي عدد مستخدمي البريد الإلكتروني، هي رسائل سپامية[1]. يقوم علماء الحاسوب اليوم بالتصدي لمرسلي هذه الرسائل (السپاميين) في سباق مستمر للتسلح من أجل التحكم فيما يدخل إلى صندوق بريدك.

(*) STOPPING SPAM

(1) ج: سپام وهذا تعريب لمصطلح دارج: spam ويطلق على الرسائل المقحمة على بريد إلكتروني خاص. (التحرير)

في عام 1978، تم إرسال أول **رسالة بريد إلكتروني سبامية** spam e-mail ـ وكان مُلصقا أرسله حينذاك أحد مندوبي المبيعات في الشركة Digital Equipment Corporation إلى حاسوب DEC-20 ـ وجرى إرساله لنحو 400 شخص على شبكة آربانت Arpanet. وحاليا تشكّل المراسلات غير المجدية، والتي تأتي على شكل إغراءات تجارية غير مرغوب فيها، أكثر من ثلثي مجموع الرسائل الإلكترونية المرسلة على الإنترنت، وتصل إلى بلايين الرسائل يوميا. إن 80 في المئة من الرسائل التي تصل إلى ثلث عدد مستخدمي البريد الإلكتروني، هي رسائل سبامية. وقد أصبحت هذه الرسائل أكثر تهديدا مع انتشار ما يسمى «**الهجمات المزيفة**» phishing attacks، أو الرسائل الإلكترونية الملفقة ـ وهي رسائل تبدو أنها من أناس أو مؤسسات تثق بهم، ولكنها في الحقيقة مرسلة من محتالين من أجل سرقة أرقام بطاقات الاعتماد أو معلومات شخصية أخرى. إن هذه الهجمات المزيفة تكلف نحو 1.2 بليون دولار سنويا، وذلك حسب دراسة أجراها مركز أبحاث كارتنر عام 2004.

إن ظاهرة الرسائل السبامية تؤثر بصورة سلبية في أكثر من مجرد البريد الإلكتروني. ففي داخل **غرف المحادثات** chat room تندس **إنسالات**[1] robots تتظاهر بأنها أشخاص عاديون وتحاول إقناع الناس بالنقر على روابط تؤدي إلى مواقع خلاعية. ويعاني مستخدمو الرسائل اللحظية السبامية (spIM)، وهي الرسائل السبامية المزعجة وتكثر على مواقع الرسائل اللحظية بالذات. كما أن هذه الرسائل تعمل على إفساد **قوائم الروابط**[2] blogs من قبل السباميين الذين يقللون من كفاءة أداء عمل محركات البحث على الإنترنت عن طريق إضافة روابط مضللة للمواقع، ما يؤدي إلى تشويه **تصنيفات الاستخدام**[3] utility ratings للمواقع والروابط.

يبدو التأثير الخانق للرسائل المزعجة أحيانا على أنه سيفتٌ من عضد، إن لم يضعف مكانة، اتصالات الإنترنت كما تعودنا عليها. ولكن الحقيقة ليست موحشة تماما، فقد تم التوصل إلى طرق عديدة لاعتراض هذه الرسائل ووضع العقبات أمام مرسليها، وهناك وسائل أخرى على الطريق. إن الطرق التي سنناقشها تركز على **رسائل البريد الإلكتروني غير المجدية** (**الرسائل الجنكية** junk e-mail)، إلا أن العديد منها يمكن تطبيقه على الأنواع الأخرى من الرسائل المزعجة. لكن أيًا من هذه الوسائل لن يكون علاجا سحريا، إلا أنها بمجموعها ـ إذا قامت مجموعة كافية منا بتبنيها ـ يمكن أن تأتي بالعجائب. ولن يكون من قبيل الخيال أن نتطلع إلى اليوم الذي تصبح فيه صناديق بريدنا الإلكتروني شبه خالية من الرسائل السبامية.

تقوم برمجيات الحراسة بتعرّف الرسائل السبامية عن طريق إيجاد ملامح معينة في رسائل سابقة وإعطاء أوزان لها من خلال ما سبق للمستخدم أن قرره عن كون هذه الملامح مرغوبة أو غير مرغوبة.

رسائل إلكترونية مُغوية[**]

إن انتشار البريد الإلكتروني المُخادع ينتج مباشرة من قوى مرغوبة في السوق: فالرسائل السبامية رخيصة التوزيع جدا، ولكنها ليست مجانية مطلقا. نقدر أن إرسال الرسالة الواحدة يكلف تقريبا جزءا من المئة من السنت. فبأسعار زهيدة كهذه يمكن لمرسل الرسائل السبامية أن يتكلّف 11 دولارا فقط لكل عملية بيع، إلا أنه يجني أرباحا، حتى وإن كانت نسبة الاستجابة منخفضة لتصل إلى واحد من 100 000. لذا، ومع أن القليل جدا من مستخدمي البريد الإلكتروني يمكن أن

نظرة إجمالية/ حراسة صندوق بريدك الوارد[*]

- **يهدد المد المتنامي من رسائل البريد الإلكتروني السبامية سلامة اتصالات الإنترنت. وينشغل المبرمجون بمعركة مستمرة من التهديدات والإجراءات المضادة للسباميين.**
- **يمكن لمجموعة من الجهود القائمة والجديدة لإيقاف الرسائل السبامية، بما في ذلك المصفيات (الفلاتر) البرمجية الذكية والنظم التي تتحقق من شرعية مرسلي البريد الإلكتروني والزواجر القانونية القوية، أن توقف هذا السيل من الرسائل السبامية، إذا جرى استخدام تلك الجهود وفرضها بشكل واسع.**

(*) Overview / Guarding Your In-Box

(**) Insidious E-mails

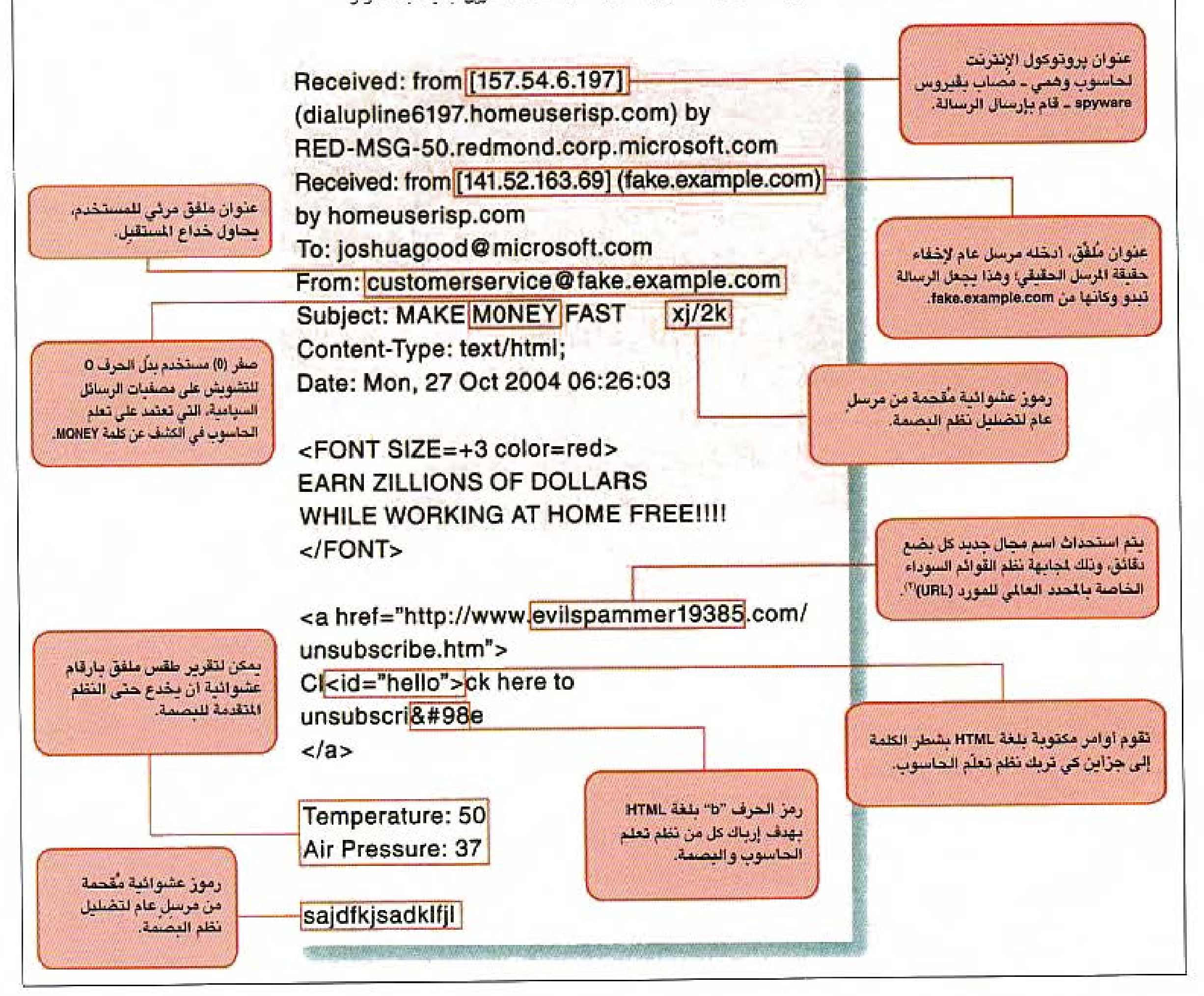
(1) ج: إنسالة robot وهذه نحت من إنسان ـ آلي.

(2) موقع جديد من مواقع الإنترنت تُخزن فيه أولا بأول قوائم الروابط، ويستخدم كثيرا من قبل محركات البحث.

(3) هي قوائم تُظهر عدد المرات التي يتم فيها زيارة موقع أو رابط معين، وتظهر هذه القوائم أهمية المواقع والروابط المختلفة على الإنترنت من خلال عدد المرات التي يتم فيها زيارتها. (التحرير)

مناورات مُرسلي الرسائل السياميةِ(*)

يستخدم السياميون(١) طرقا عدة للتحايل على مُصفّيات الرسائل. وإحدى أكثر الطرق بساطة لمواجهة الرسائل السيامية هي مطابقة البصمة، حيث تقوم الحواسيب بتحليل رسائل سيامية معروفة، ثم تقوم بشطب الرسائل الجديدة التي تتطابق معها. وقد تعلم السياميون بسرعة كيف يهزمون طرق المطابقة البسيطة عن طريق إضافة سلاسل من الأحرف العشوائية أو محتويات عشوائية، كتقارير طقس ملفقة، مما يؤدي إلى تغيير بصمة الرسالة. وأخيرا، بدؤوا بإخفاء تهجئة الكلمات المرتبطة عادة بالرسائل السيامية - مثل تغيير الحرف O في كلمة "MONEY" بالرقم صفر (0). كما تبحث بعض المصفيات عن روابط مطورة لصفحات وب ومخدمات يعرف ارتباطها بالرسائل السيامية المزعجة. ولكن السياميين تعلموا استحداث عناوين جديدة باستمرار.



يشتروا أي شيء يتم الإعلان عنه من خلال الرسائل السيامية، فإننا جميعا نعاني بسبب أولئك الذين يفعلون ذلك.

إن أكثر مظاهر الرسائل الإلكترونية إثارة للغيظ هي أنها تتغير باستمرار للتكيف ضد المحاولات الجديدة لإيقافها. ففي كل مرة يقوم مهندسو البرمجيات بالتصدي للرسائل السيامية بطريقة معينة، يجد مرسلو هذه الرسائل وسيلة للالتفاف حول تلك الطريقة. ولقد أدى سباق التسلح هذا إلى تطور مستمر ومشترك عند الطرفين. ونتج من ذلك تعقيد مستمر عند الطرفين لم يسبق له مثيل.

وثمة مشكلة أساسية أخرى تنبع من حقيقة أن المهندسين والقانونيين يجدون من الصعوبة بمكان وضع تعريف لمصطلح الرسائل السيامية. ومعظم القوانين تعرِّفها على أنها رسائل إلكترونية تجارية **لم يجرِ طلبها** un-solicited، وصادرة عن شخص لا يوجد معه علاقة تجارية مسبقا. ولكن هذا التعريف واسع جدا. فعلى سبيل المثال، تسلمنا حديثا عرضا بالبريد الإلكتروني لتحويل قصة كنا قد نشرناها على الإنترنت، إلى فيلم سينمائي. فهذه الرسالة تتفق مع التعريف القانوني السابق: فهي غير مطلوبة وتجارية ومن مرسل غير معروف، لكن لا يمكن لأحد أن يسميها «سيامية». يمكن لتعريف بديل أن يتضمن حقيقة أن الرسائل

(*) Spammer Ploys

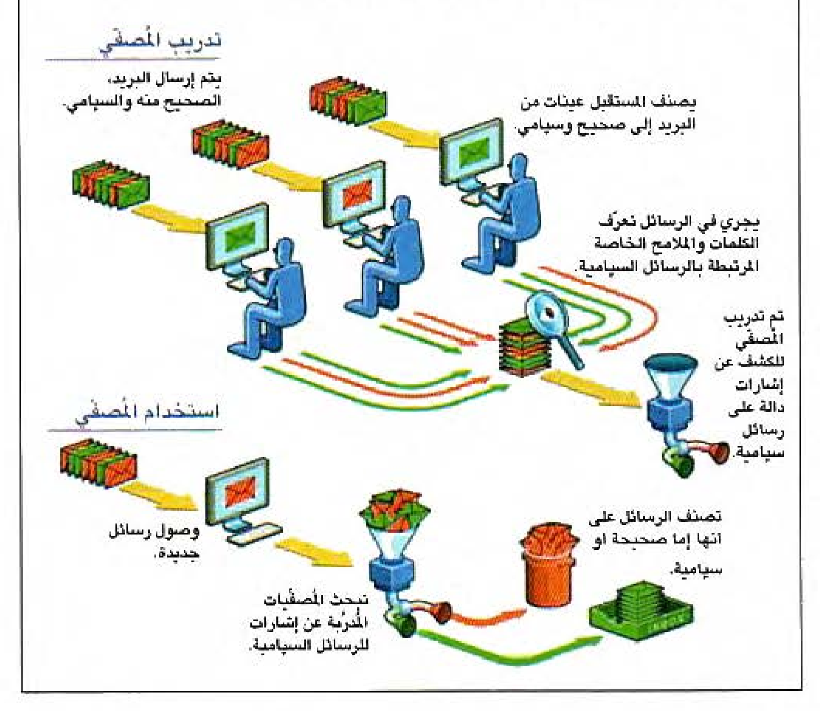
(١) مرسلو الرسائل السيامية (المقحمة على بريد إلكتروني خاص).

(٢) المحدد العالمي للمورد Universal Resource locator (URL): هو عنوان صفحة الموقع على الشبكة العالمية.

السبامية عادة ترسل بشكل جماعي. ولكننا حديثا قمنا بإرسال دعوات لمؤتمر علمي لمناقشة نظم البريد الإلكتروني وطرق التصدي للرسائل السبامية، وأرسلنا الطلبات لخمسين شخصا لم نقابلهم مطلقا، ولكنهم كانوا قد نشروا أبحاثا في الموضوع. فلم يشتك أي منهم. ربما يكون أفضل تعريف للرسائل «السبامية» أنها موجهة بشكل سيئ وغير مرغوب فيها. إن وضع تعريف دقيق للرسائل السبامية صعب للغاية، ولكنها مثل الأمور الخلاعية، نعرفها فعلا عندما نراها تملأ صناديق بريدنا.

مستخدمو البريد الإلكتروني يدربون مصفيات السبامات[**]

عالج أول برنامج أنتجته الشركة مايكروسوفت لتصفية السبامات (الرسائل السبامية) معلومات تم جمعها من 20 فقط من مستخدمي البريد الإلكتروني. ومع تزايد حذق السباميين، أصبحت الحاجة ملحّة إلى مصادر أفضل للبيانات. ويقوم حاليا 100 000 متطوع من مستخدمي Hotmail بالمساعدة على جمع رسائل غير مجدية (جنكية). يصنف هؤلاء المستخدمون مجموعة عشوائية من رسائلهم الخاصة على أنها إما صحيحة أو سبامية، مما يساعد النظام على تعلم أهداف جديدة في تصفية الرسائل على أسس نظامية. وعندما يجد السباميون طريقة للتحايل على برنامج التصفية، فلن يستغرق الأمر فترة بسيطة حتى يحدد النظام كيفية تعرّف الرسائل السبامية الجديدة واستبعادها.



تشكيل الرسائل[*]

لقد عملنا على مشكلة الرسائل السبامية منذ عام 1997، عندما اقترح أحدنا (هيكرمان) أن وسائل **تعلُّم الحاسوب** machine-learning ربما تقدم خطا فاعلا في الهجوم. ومنذ ذلك الوقت، قمنا نحن الثلاثة مع زملاء كثيرين في مجال البرمجيات بالبحث عن طرق لإيقاف هذه الرسائل وتطوير تلك الطرق. وتشمل هذه الطرق مزيجا من الحلول الفنية والقانونية، إضافة إلى مبادرات على مستوى الصناعة.

ومن الوسائل القديمة التي استخدمت سابقا لإيقاف الرسائل المزعجة ما يعرف بطرق **مطابقة البصمة** fingerprint matching. في هذه النظم يقوم مهندسو البرمجيات أولا بجمع أمثلة عن الرسائل السبامية، ثم يجعلون الحاسوب يقوم بإيجاد «بصمة» لها. والبصمة هي رقم مشتق من محتوى الرسالة بحيث تحصل جميع الرسائل المطابقة أو المشابهة على الرقم نفسه. ولإعطاء مثال بسيط، يمكن للشخص أن يضيف عدد تكرار الحرف A في الرسالة إلى عدد تكرار الحرف B مضروبا في العدد 10، إضافة إلى عدد تكرار الحرف C مضروبا في 100. وهكذا، عندما تصل رسالة سبامية جديدة، يقوم برنامج التصدي هذا بحساب رقم البصمة الخاص بالرسالة ومقارنته ببصمة الرسائل السبامية المعروفة. فإذا توافقت البصمتان، يقوم البرنامج بمسح الرسالة أو أرشفتها.

ولكن مما يؤسف له، أن مرسلي الرسائل قد تغلبوا بسهولة على هذه الطرق، إذ قاموا ببساطة بإضافة أحرف عشوائية إلى رسائلهم (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وردَّ محاربو الرسائل بطرق أكثر تعقيدا لحساب البصمة، وذلك بمحاولة تجاهل سلاسل الأحرف العشوائية الواضحة، ولكن المزعجين تغلبوا على هذه الجهود بمحتويات رسائل تبدو أكثر شرعية، مثل تقارير طقس مزيفة (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وأخيرا، يبدو أن جعل نظم البصمة قوية بدرجة كافية بحيث تمكننا من النظر خلال السلاسل العشوائية للمرسلين، هو أمر صعب جدا.

مُصفّيات ذكية[***]

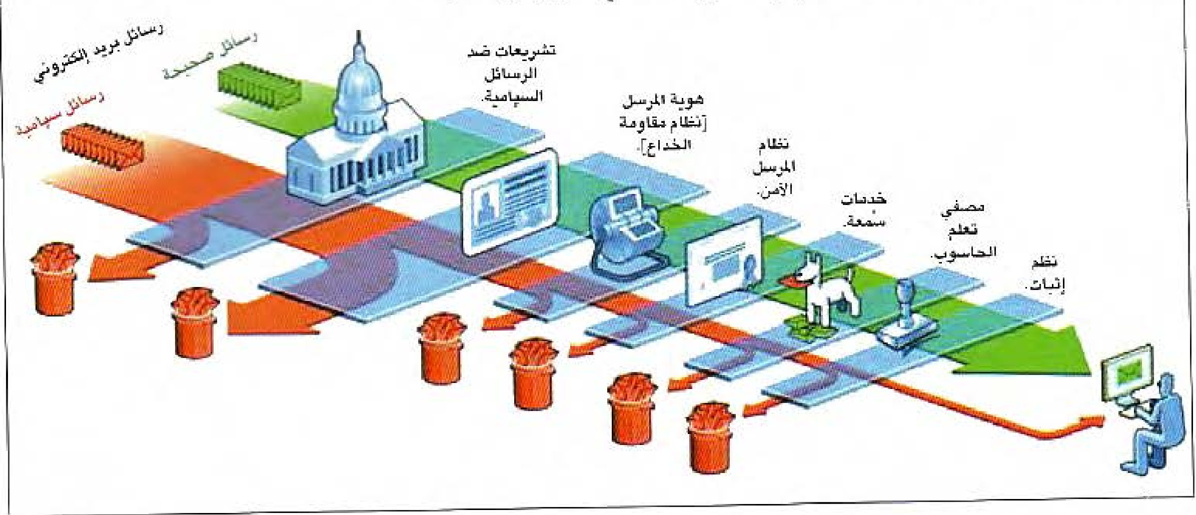
بدلا من متابعة الطرق التي تعتمد البصمة، اتبعت مجموعتنا طريقا آخر يعتمد على قدرة الحاسوب على التعلُّم. وهذه البرامج الحاسوبية المتخصصة يمكنها أن تتعلم التمييز بين الرسائل السبامية والرسائل الحقيقية، ولا يمكن التشويش عليها بإضافة بعض الحروف أو الكلمات العشوائية.

في البداية، جربنا أبسط طرق تعلُّم الحاسوب وأكثرها شيوعا. تبدأ خوارزمية نابيف بَيس[1] Naive Bayes باحتمال ورود كل كلمة في الرسالة. فاحتمال ظهور كل من

(*) Morphing Messages
(**) E-Mail Users Train Spam Filters
(***) Smart Filters
(1) إحدى الخوارزميات الشهيرة والناجحة في تعليم الحاسوب على تصنيف النصوص. (التحرير)

جهود متعددة لإيقاف الرسائل السپامية[*]

ربما يتطلب إيقاف الرسائل السپامية دفاعا متراصا يضم قوانين تثبط هذه الرسائل السپامية، وتقانات تُميِّز العناوين الملفقة للسپاميين، وبرامج ذكية لتصفية البريد الإلكتروني ونظم إثبات تتحقق من أن المرسل شخص ما أو التي تجعل من العملية مكلفة جدا لا يستطيع السپاميون تحملها. إن خط الدفاع الأول هو التشريعات الحكومية. يمنع القانون CAN-SPAM بعض الممارسات المؤذية بالذات، ولكن يبدو انه حتى الآن لم يتم على الأغلب ردع السپاميين. ولأن نحو نصف عدد الرسائل السپامية يستخدم عناوين إرسال ملفقة، فإن معيار «إطار هوية المرسل» يضيف معلومات مساعدة إلى مخدم اسم المجال (DNS)، وذلك بتحديد قائمة من عناوين پروتوكولات الإنترنت الخاصة بالحواسيب المسموح لها بإرسال رسائل من ذلك المجال. ويقوم نظام البريد الإلكتروني في حاسوب شخصي بفحص «قائمة آمنة» من المرسلين الموثوقين الذين سبق أن حددهم المستخدم. يمر المرسلون الواردة أسماؤهم في القائمة من دون أية تصفية أخرى. أما الذين لا ترد أسماؤهم في القائمة الخاصة «الآمنة»، فيجري التحقق من شخصيتهم من قبل أحد مخدمات السمعة الخاصة بالمرسلين، الذين يوافقون على الالتزام بالمعايير الصارمة التي تمنع إرسال الرسائل السپامية. وإذا لم يكن المرسل على أي من القائمتين، فستذهب الرسالة إلى مصنف ضد الرسائل السپامية يعمل بمبدأ تعلم الحاسوب. أما المرسلون المشكوك فيهم ولو قليلا، فإن عليهم أن يقدموا شكلا من الإثبات - مثل حل أحجية بسيطة تثبت أن المرسل شخص، أو الإجابة عن أحجية أكثر صعوبة تتطلب وقت معالجة حاسوبية مكلف، أو دفع مبلغ قابل للاسترداد.



الكلمات "click"، و "here" و "unsubscribe" في الرسائل السپامية، على سبيل المثال، هو 0.9؛ واحتمال ظهورها في رسائل البريد الإلكتروني المشروعة هو 0.2 (1.0 احتمال مؤكد). بإيجاد حاصل ضرب احتمال جميع الكلمات الواردة في رسالة ما وباستخدام مبدأ إحصائي يعرف بقانون بيس Baye's rule، نحصل على تقدير احتمال أن تكون الرسالة من الرسائل السپامية.

تعمل استراتيجية نايف بيس[1] بصورة جيدة على تحديد كيف يكون شكل رسائل البريد الإلكتروني الأصيلة، وكجميع طرق التعلّم، فهي تقاوم طرق التشويش البسيطة. ولكننا كنا مدركين جيدا لنقاط ضعفها. فافتراضها أن الكلمات في الرسائل الإلكترونية تأتي منفصلة عن بعضها وغير مترابطة في كثير من الحالات هو افتراض خاطئ (على سبيل المثال، "click" و "here" غالبا ما تظهران معًا)، وهذا يؤدي إلى انحراف النتائج.

وبسبب هذه الصعوبات، فإن بحثنا يركِّز على النماذج الخطية المميِّزة، والتي تقوم بتحسين القرارات الأخيرة للنماذج عندما تُعطي أوزانا للميزات المختلفة. هذه الميزات تتضمن كلمات الرسالة وخواصها، مثل: هل الرسالة مرسلة للعديد من المستقبلين. تستطيع هذه النماذج، بشكل ما، أن تتعلم العلاقات بين الكلمات - مثل «معرفة» عدم وضع أهمية كبيرة على الكلمات التي غالبا ما تظهر مع بعضها، مثل "click" و "here" و "unsubscribe". ولزيادة الإيضاح، دعنا نفترض أن أحد نماذج نايف بيس صادف هذه الكلمات الثلاث، والتي غالبا ما ترتبط بالرسائل السپامية. ربما تقرر تلك النماذج أن لديها شواهد كفاية لتقرير أن أية رسالة تحتوي هذه الكلمات الثلاث هي رسالة غير مجدية (جَنْكية) junk، ومن ثم يؤدي بها ذلك أحيانا إلى إلغاء رسائل إلكترونية حقيقية. وفي المقابل، فإن نموذجا مميِّزا تم تدريبه، سيدرك أن هذه الكلمات غالبا ما تأتي مع بعضها، ومن ثم سيعطيها وزنا أقل ومعقولية أكثر. إن نموذجا كهذا يمكنه حتى أن يتعلم أن كلمة مثل "here"، والتي يمكن أن تتكرر كثيرا في الرسائل السپامية، يجب أن لا تعطى أي وزن مطلقا، لأنها لا تساعد فعلا على تمييز الجيد من السيئ بين الرسائل. وتستطيع الطرق المميِّزة أيضا أن تكتشف أن بعض الكلمات تلغي كلمات أخرى. فمع أن كلمة "wet" تظهر غالبا في الرسائل السيئة، فإن ظهورها مع كلمة "weather"، يزيد من إمكانية

(*) Multiple Anti-Spam Efforts
(1) Naive Bayes

أن تكون الرسالة شرعية.

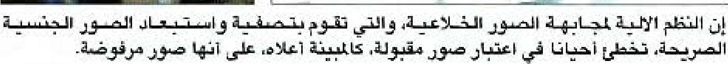
من فوائد نظم نايف بيس أنها سهلة التدريب (يمكن تدريبها). إن تحديد الأوزان للطرق المميّزة أكثر صعوبة؛ فهي تتطلب من المبرمجين أن يحولوا مجموعات عديدة من قيم الأوزان للكلمات وللصفات المميّزة الأخرى من أجل إيجاد توليفة يمكنها أن تقوم بأفضل السبل لتمييز الرسائل المزعجة من المقبولة. ولحسن الحظ، فقد أحرز الباحثون تقدما ملحوظا في هذا المجال. فخوارزميات مثل **التحسين المتتالي الأصغر** Sequential Minimal Optimization، التي اخترعها <c. د. پلات> [من الشركة مايكروسوفت] و**خوارزمية التناسب المتتالي الشرطي العام المتكرر** Sequential Conditional Generalized Iterative Scaling (SCGIS)، التي وضعها أحدُنا (گودمان)، هي طرق أسرع بعشرات أو بمئات المرات من الطرق القديمة. فعند التعامل مع كميات كبيرة من بيانات التدريب على الرسائل السپامية، أي على أكثر من مليون رسالة ومئات الألوف من الأوزان، فإن الخوارزميات الأسرع تكون أكثر حسما.

إخفاء الرسائل السپامية(*)

لقد عرفنا منذ البدء أن نظم تدريب الحواسيب، التي تُركز على الكلمات في رسالة ما، ستكون عرضة لتدخل السپاميين[1] الذين يخفون طريقة كتابتهم للرسائل. فالسپاميون الماهرون، على سبيل المثال، تعلموا استخدام كلمات مثل "M0NEY" (باستخدام الرقم صفر "0" بدلا من الحرف "O") أو باستخدام خِدَع اللغة HTML، مثل فصل الكلمة إلى عدة مقاطع (مثل كتابة "click" على شكل "cl" و"ick"). ولأن دلالة المصطلحين ("money" و "click") لم تعد موجودة في الرسالة، فإنه يمكن تشويش المصفّي (*انظر الإطار في الصفحة 46*). والخبر المفرح هو أن نظم تدريب الحاسوب يمكنها غالبا أن تتعلم هذه الخدع وتتلافاها.

صور خلاعية
نظم تعرّف الصور(**)





إن النظم الآلية لمجابهة الصور الخلاعية، والتي تقوم بتصفية واستبعاد الصور الجنسية الصريحة، تخطئ أحيانا في اعتبار صور مقبولة، كالمبينة أعلاه، على أنها صور مرفوضة.

لسوء الحظ، فقد افترضنا خطأ أن بعض الناس فقط قد يستجيبون لرسالة من الواضح أنها تحاول التغلب على مصفّي الرسائل السپامية، لأننا فكّرنا - من يمكن أن يشتري منتجا بهذه الطريقة؟ ولكن للأسف، كنا مخطئين: فالذين يشترون المنتجات المحظورة أو غير القانونية لا يتوقعون من البائعين أن يستخدموا طرق إعلان محترمة. ولذا فقد كان علينا أن نغير نظم التعلُّم لدينا باستخدام ما يسميه الباحثون نماذج n-gram. هذه الطرق تستخدم السلاسل الجزئية للكلمات لكشف الكلمات الأساسية التي غالبا ما ترتبط بالرسائل السپامية. فإذا كانت هناك رسالة إلكترونية تحتوي على جملة "n@ked l@dies"، على سبيل المثال، فإن نموذج n-gram المستخلص منها سيحتوي على "<space>n@k," "n@ke," "@ked"، وهكذا. ولأن هذه الأجزاء من الكلمات تظهر في رسائل سپامية مؤكدة، فإن وجودها يقدم دليلا قيّما.

لقد ساعدت النماذج n-gram أيضا على تحسين استخدام المُصفّيات عند تطبيقها على اللغات الأجنبية. فاللغتان اليابانية والصينية، على سبيل المثال، لا تستخدمان **الفراغات** spaces للفصل بين الكلمات، لذا فإن إيجاد نهايات الكلمات بشكل واضح أمر في غاية الصعوبة. ولهذه اللغات، يُمكّن نموذج n-gram النظم من استعراض كل كلمة ممكنة وكل جزء من الكلمة.

الرسائل السپامية التي تعتمد على الصور(***)

يقوم السپاميون أحيانا بإخفاء رسائلهم في صورة، حيث لا تستطيع نظم تعلم الحاسوب تحليل المحتويات (مع أنها تستطيع استخدام دلالات أخرى، مثل الروابط في الرسالة ومعلومات عن سُمعة المرسل، وغير ذلك). وأحد المجالات الواعدة في الأبحاث المستقبلية هو استخدام وسائل **تعرّف الحروف بصريا** optical character recognition (OCR) في تصفية الرسائل السپامية. ويمكن لطرق التعرف نفسها التي تُستخدم في مسح الوثائق أن تجد جميع النصوص الموجودة في الصور، ثم تمررها إلى مصفٍّ خاص بتعليم الحاسوب.

ومن أكثر مظاهر الرسائل السپامية عدوانية هو ظهور صور عارية في صندوق بريد شخص ما. ولحسن الحظ،

(*) Hiding Spam
(**) Pornographic, Image-Recognition Systems
(***) Image-Based Spam
(1) ج: سپامي spammer وهو شخص يقحم رسائل أو إعلانات على بريد إلكتروني خاص (التحرير)

فإن الباحثين في مجال الرؤية بالحاسوب أحرزوا نجاحا عظيما في مجال الكشف الآلي عن الصور الخلاعية. إن العمل في هذا المجال واسع بشكل مدهش، لأن له تطبيقات في منع وصول الأطفال إلى المواقع التي تحتوي على مواد إباحية وفي منع أصحابها من إساءة استخدام النظم المجانية لاستضافة المواقع. ولكن نظم تعرّف الصور هذه، مازالت مستهلكة للوقت، كما أن درجة الاعتماد عليها في التعرف بحاجة إلى تحسين. فالصور الحميدة، ولا سيما تلك التي تُظهر جزءا كبيرا من الجلد، ربما تطلق إنذارات كاذبة (*انظر الإطار في الصفحة 49*).

كما يقوم فريقنا بالبحث في تحليل المعلومات الخاصة بالمحدد العالمي للموقع (URL) ــ الكود الذي يربط بصفحات الموقع ــ من أجل تمييز الرسائل السپامية. إن 95 في المئة من الرسائل السپامية تحتوي على محدد موقع عالمي (URL). والهدف الرئيسي لمعظم السپاميين هو جلب المستخدمين لزيارة مواقعهم على الوب (مع أن نسبة قليلة منهم يفضلون الاتصال من خلال الهاتف). لذا فإن معلومات محدد الموقع العالمي هي هدف متميز للمُصفّيات.

ويمكن للمُصفّيات أن تستخدم معلومات المحدد URL بعدة طرق. فقد بدأ بعض مقدمي برمجيات مقاومة الرسائل السپامية بمنع الرسائل التي تحتوي روابط لصفحات على الوب معروفة بصلاتها بالسپامات. ويمكن اعتبار روابط المجالات غير المعروفة سابقا بأنها مشبوهة: ينشئ السپاميون مجالات جديدة بسرعة كبيرة، في حين تكون معظم المجالات الشرعية أكثر ديمومة. وفي المقابل، فإن معلومات المحدد URL يمكن أن تكون مؤشرا على رسائل شرعية: إن رسالة تحتوي على مجرد روابط لصفحات معروفة بعدم ارتباطها بالسپامات، أو لا تحتوي إطلاقا على المحددات URL، أقل احتمالا من أن تكون سپامية.

أثبت ذلك(*)

ومع أن تقنيات التصفية تعمل بصورة جيدة، فإننا ندرك أن السپاميين سيحاولون دائما التغلب على هذه التقنيات. وبدلا من أن نحاول كسب هذه المنافسة اللانهائية، نعتقد أن أكثر الوسائل نجاعة على المدى البعيد هي أن نغير قوانين اللعبة. لذا، فإننا نعمل على استكشاف **نظم إثبات** proof systems ــ نظم هدفها أن تتطلب من السپاميين أكثر مما يستطيعون تقديمه.

إن الرسالة السپامية الأولى تماما كانت قد أرسلت بطباعة 400 عنوان إلكتروني يدويا. أما اليوم، فإن جميع الرسائل السپامية يتم إرسالها آليا. فإذا استطاع المرسل أن يثبت أنه إنسان، فإن المرسل على الأغلب ليس من السپاميين. وأحد أوائل نظم الإثبات، الذي اقترحه <M. ناور> [من معهد وايزمان للعلوم] يستخدم هذه الفكرة. لقد اقترح <ناور> استخدام ما صار معروفا **بالأدلة التفاعلية البشرية** human interactive proofs (HIPs)، ونظام CAPTCHA ــ وهو اختصار للمصطلح completely automated public Turing test to tell computers and humans apart، ويعني اختبار تيورينك الآلي العام للتمييز بين الإنسان والحاسوب ــ أو اختبار تيورينك المعكوس[1]. إن دليل التفاعل البشري (HIP) هو مسألة أو أحجية مصممة بحيث تكون سهلة جدا لمعظم البشر ولكنها صعبة جدا على الحاسوب. فالبشر، على سبيل المثال، متفوقون بشكل كبير على الحواسيب في تعرّف مجموعات عشوائية من حروف هجائية معماة جزئيا أو مشوشة في صورة معينة.

يشكل أي دليل تفاعل بشري HIP جزءا من نظام استجابة مُتحدٍّ، يتحقق من أن المرسل شخص أم لا. قبل توزيع رسالة ما، يقوم النظام أولا بفحص «قائمة آمنة» من المرسلين يعتبرها المستقبِل جديرة بالثقة. فإذا كان المرسل موجودا في القائمة، يتم وضع الرسالة في صندوق بريد المستقبِل، وإلا يتم إرسال رسالة تَحدٍّ إلى المرسل الأصلي تطلب إليه أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP). وبعد أن يحل المرسل دليل التفاعل، يتم نقل استجابته إلى المستقبِل، وتقوم برمجيات البريد الإلكتروني الخاصة بالمستقبِل بنقل الرسالة إلى صندوق بريده.

إلاّ أن هذا النوع من النظم التفاعلية يمكن أن يكون مزعجا للمستخدمين. فقليل من الناس يريدون أن يحلوا أدلة تفاعل بشري من أجل إرسال بريد إلكتروني، حتى إن بعضهم يرفضون عمل ذلك. وثمة طريقة بديلة لإثباتٍ آلي، تم اقتراحها من قبل <ناور> وزميلته <C. دوورك> وتستخدم الأحجيات الحاسوبية. لتسليم رسالة بنجاح، يجب أولا على نظام البريد الإلكتروني الخاص بالمرسِل أن يحل أحجية حاسوبية مرسَلة من نظام المستقبِل. والفكرة هي أن يبرهن المرسل أنه صرف وقتا حاسوبيا على تلك الرسالة بالذات، أكثر مما يستطيع أن يتحمله شخص سپامي. وتشبه الأحجيات الحاسوبية ألعاب الصور المُقطّعة ــ صعبة الحل ولكن من السهل التحقق منها. فهذه الألعاب تتطلب ما معدله ثوانٍ معدودة وحتى دقائق لإيجاد حل لها، ولكنها لا تتطلب أكثر من أجزاء في الألف من الثانية للتحقق من حلها. إن حل هذه المشكلات باستجابة مباشرة ربما يتطلب من مرسل الرسائل السپامية شراء عدة حواسيب، مما يجعل التكلفة شبه مستحيلة.

وثمة نوع آخر من نظم الإثبات تستخدم مالا حقيقيا. يُرفق المرسلون مع رسائلهم نوعا من الشيك الإلكتروني بمبلغ ضئيل، بنسا واحدا على سبيل المثال. إن إرفاق هذا المبلغ يسمح لرسالتهم بالعبور خلال مصفيّات الرسائل. إذا كانت الرسالة جيدة، يقوم المستلم بتجاهل الشيك؛ أما إذا كانت الرسالة سپامية، فإن هناك آلية موحّدة للشكاوى تسمح للمستلم بالحصول على المبلغ (أو التبرع به لجهة خيرية). وبينما

(*) Prove it

(1) reverse turing tests [نظر: "Baffling the Bots," by Lee Bruno; *Scientific American*, November 2003].

تقوم برمجيات خاصة بتحديد السعر بمراقبة أحجام رسائل المرسلين، بحيث لا يقومون بإرسال رسائل أكثر مما يسمح لهم حسابهم. وهذا النظام مجاني للمرسلين الشرعيين، ولكنه بالنسبة إلى مرسلي الرسائل السپامية، فإن تكلفة الرسالة الواحدة يمكن أن تصل إلى سنت ـ أي أكثر بمئة مرة من تقديرنا للسعر الحالي ـ وهذا أكثر مما يحتمله السپاميون. وبالنسبة إلى الأفراد، يتم هذا عن طريق إيداع مبلغ افتراضي من المال من **مقدم خدمة الإنترنت** Internet Service Provider أو عندما يقومون بشراء برمجيات البريد الإلكتروني، لذا فإنه مجاني لمعظم المستخدمين.

ومع بساطة ذلك من حيث المبدأ، فإن نظم الرقابة من هذا النوع ستكون صعبة من الناحية العملية. فالنظم الإلكترونية تتطلب بعض التكلفة الزائدة، فهذه الحركات لن تكون مجانية. كما أن الكثير من الأسئلة الخاصة بالتركيبة البنكية للدفعات المالية البسيطة يبقى من دون حل: من أين يأتي المال اللازم لتغطية هذه التكاليف؟ كيف يمكن المحافظة على عملياتها، ومن سيجني الربح؟ من الذي سيأخذ المبالغ المدفوعة، وكيف يمكن للنظام أن يمنع الاحتيال؟ ومع أن جميع هذه الأسئلة يمكن حلها، فإن الشروع بعمل كهذا سيكون صعبا.

هجوم شامل(*)

إن استراتيجيتنا المفضلة لإيقاف السپامات تجمع بين تقنية تصفية (فلترة) البريد الإلكتروني وخيار اختبارات الدليل: الأدلة التفاعلية البشرية (HIPs) والأحجيات الحاسوبية والدفعات الصغيرة جدا. وفي هذه الطريقة، إذا لم يكن مُرسِل الرسالة ضمن القائمة الآمنة للمستقبِل، تُحوَّل الرسالة إلى مُصفٍّ مضاد للإزعاج يعتمد على تعلم الحاسوب وصُمم ليكون عدائيا: فإذا كانت الرسالة مشكوكا فيها ولو بدرجة بسيطة، فيجري تحدي المرسِل. إن معظم الرسائل من شخص إلى آخر ـ على كل حال ـ لن تكون محل نزاع، وهذا يقلل إلى حد كبير عدد الأدلة المطلوبة. يُعطى المرسِل عندئذ الخيار: إما أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP) أو أحجية حاسوبية أو أن يقدم مبلغا قليلا قابلا للاسترداد. إذا كان حاسوب المرسِل مزودا ببرمجيات حديثة، فإنه يحل اللغز أو الأحجية آليا، حتى من دون علم المرسل بالتحدي. وإلاّ فعلى المرسل أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP) أو أن يدفع مبلغا قليلا.

بالطبع، فإن الشركات أو المؤسسات التعليمية لن تستطيع منفردة، بصرف النظر عن كبر حجمها، أن تحرز سوى تقدم بسيط ضد السپامات. إن حلا شاملا للمشكلة يتطلب تعاون جميع العاملين في صناعة الحواسيب والبرمجيات، إضافة إلى الحكومات.

إن ثلثي مجموع الرسائل الإلكترونية تقريبا تستخدم عناوين مرسِلين ملفقة أو «ساخرة»، وبروتوكولات البريد الإلكتروني المستخدمة حاليا مبنية على الثقة: يصرح المرسلون ببساطة عن أسمائهم ويصدقهم المستقبلون. لقد عملت هذه الطريقة بصورة جيدة في بواكير الإنترنت، قبل أن تنتشر الرسائل السپامية وقبل أن يُستخدم البريد الإلكتروني في العمليات التجارية.

وتغيير معايير الإنترنت عملية صعوبتها مشهورة، وكانت صعبة بشكل خاص فيما يتعلق ببروتوكولات البريد الإلكتروني. ولكن هناك معيارا جديدا في هذه الصناعة، هو **إطار هوية المرسل** Sender ID Framework، يقوم بتناول هذه المشكلة. يعمل هذا المعيار عن طريق إضافة معلومات مساعدة إلى مخدم اسم المجال (DNS) لعمل قائمة بعناوين پروتوكول الإنترنت Internet Protocol addresses التي يمكن أن تأتي منها رسائل من مجال محدد (أجزاء من الشبكة).

إن عناوين پروتوكول الإنترنت IP addresses هي عناوين رقمية، مثل أرقام الشوارع، لأجهزة الحاسوب، مثل "1.2.3.4". تُحدِّد قائمة «مخدم اسم المجال» (DNS) لمجال معين، على سبيل المثال com. ـ أي عناوين IP يسمح لها بإرسال بريد من ذلك المجال. فإذا تظاهر سپامي بأنه example.com مثلا، فإن عنوان پروتوكول الإنترنت الخاص به لن يتوافق مع أي من عناوين IP الموجودة في لائحة هوية المرسل الخاصة بـ example.com، وسيعرف برنامج البريد الإلكتروني أن بريد هذا السپامي ملفق.

وعلى الرغم من أن معرفة هوية المرسِل هي خطوة حرجة في منع الاحتيال (كما في رسائل البريد الإلكتروني التي تتصيد المستخدمين)، فإن هذا لن يحل المشكلة. فليس هناك ما يمنع السپاميين من عمل أسماء وشخصيات جديدة كل يوم، وحتى كل بضع دقائق. لذا فإن **مخدمات السُّمعة** reputation services ـ التي بوساطتها يستطيع المرسلون الشهادة على أنفسهم بأنهم شرعيون ـ ستكون في غاية الأهمية.

في إحدى هذه الحالات، البرنامج IronPort's Bonded Sender، يقوم المرسل بإيداع مبلغ من المال كسند ضمان. فإذا وصلت نسبة الشكوى من المرسل إلى حد معين، فإنه يخسر مبلغ الضمان لصالح جهة خيرية معينة. ويمكن لمصفيات الرسائل السپامية التحقق من قائمة المرسلين في البرنامج Bonded Sender والسماح بالبريد من المرسلين المعتمدين بالمرور من المصفّي، حتى لو بدا هذا البريد مشبوها. ويمكن لبرامج كهذه العمل حتى لأولئك الذين يرسلون رسائل قليلة. ويمكن لمقدمي خدمة الإنترنت، من أمثال المخدمين MSN و AOL، الانضمام لأحد مخدمات السُّمعة هذه من أجل استخدام برامج الاعتماد الخاصة بها: ثم تقوم بمراقبة حجم كل بريد إلكتروني

(*) All-Inclusive Attack

التتمة في الصفحة 82



التطور المبكر للحيوانات(*)

تكشف الأحافير(1) الدقيقة أن الحياة المعقدة للحيوانات أقدم مما تصورنا بنحو 50 مليون سنة على الأقل.

«D. J. بوتجر»

قال «J.-Y. تشن» ونحن نراقب العربة تختفي عند منحنى في الطريق: «في هذه الشاحنة أحفورة لحيوان متماثل الجانبين(2)». كنت قد جمعتُ مع «تشن» [عالم الأحافير (المستحاثات) بالأكاديمية الصينية للعلوم في نانينك] و «S. Q. دورنوبس» [وهو زميل بجامعة كاليفورنيا الجنوبية] حمولة شاحنة من الصخور السوداء من ترسيبات يراوح عمرها بين 580 و 600 مليون سنة في إقليم گويزو. لقد كان «تشن» متأكدا من أنها تحمل شيئا غاية في الأهمية.

كنا قد أتينا إلى گويزو عام 2002 للبحث عن أحافير مجهرية لبعض الحيوانات المعنة في القدم على وجه الأرض، وبالتحديد كنا نأملُ العثورَ على حيوان متماثل الجانبين. إن ظهور التماثل الجانبي ـ توازن صورة المرآة للأطراف والأعضاء ـ يمثل خطوة بارزة في تاريخ الحياة. فلم تكن الحيوانات العديدة الخلايا الأولى متماثلة الجانبين، وإنما كانت قطرات مائية غير متماثلة ـ إسفنجيات ـ قامت بتصفية جزيئات الغذاء من تيارات الماء التي تولدها؛ أما اللواسع، وهي كائنات مائية شعاعية التماثل، فقد كانت أكثر تعقيدا، إذ كانت مزودة بخلايا لاسعة متخصصة يمكنها شل حركة الفريسة. وتشكل الحيوانات المتماثلة الجانبين بقية الحيوانات من الديدان حتى الإنسان، وفي بعض مراحل دورة حياتها لا تُظهر جميعها التوازن الأيمن-الأيسر الواضح فحسب، بل أيضا جسما متعدد الطبقات له فم ومِعى وشرج.

وحتى بضع سنوات مضت، كانت الآراء متفقة على أن الحيوانات المتماثلة الجانبين ظهرت في سجل الأحافير قبل 555 مليون سنة، مع أن معظمها ظهر في وقت لاحق في تفجر ابتكاري(3) يعرف بالانفجار الكامبري، بدأ قبل نحو 542 مليون سنة. وقد أدت ندرة الأحافير المبكرة إلى استحالة تمحيص الآراء حول ما الذي أشعل فتيل هذا الانفجار أو حتى القول بالتأكيد ما إذا كانت هذه حقيقة أو مجرد ظن، لأن الحيوانات المبكرة لم تترك سوى آثار قليلة ملموسة. ولكن البحث على مدى السنوات الست الماضية ـ بما فيه بحثنا في إقليم گويزو ـ قد أدى إلى تغيير الرأي الذي اعتقدناه طويلا، وإلى القول بأن الحيوانات المعقدة قد نشأت وظهرت قبل الانفجار الكامبري بخمسين مليون سنة على الأقل.

الساعات الجزيئية والمناطق الرئيسية (المناطق الأم)(***)

يعتبر التحليل الجزيئي، وبخاصة تقنية ما يسمى الساعات الجزيئية، مفتاحا للتفكير الحديث في متى نشأت الحيوانات المبكرة. وتعتمد فكرة «الساعة» على افتراض حدوث بعض تغيرات تطورية بمعدلات منتظمة. فعلى سبيل المثال تندمج الطفرات في دنا DNA الجينات على مدى ملايين السنين بمعدل ثابت، ومن ثم يمكن أن تعمل الاختلافات في دنا الكائنات «كعينة زمنية» لقياس التاريخ الذي انشق split فيه نسلان من سلف مشترك واتجه كل منهما في طريقه المستقل مجمِّعا لطفراته المميزة.

نظرة إجمالية/ أقدم مما تصورنا(**)

- ترسم نشأة التماثل الجانبي علامة لخطوة حاسمة في التطور المبكر للحيوانات.
- يومئ التحليل الوراثي إلى أن التماثل الجانبي نشأ وظهر قبل ما يراوح بين 573 و 656 مليون سنة، إلا أن الخلاف يشوب هذا التاريخ لأسباب عديدة، أقواها أنه حتى الآن ترجع أقدم الأحافير (المستحاثات) المتماثلة الجانبين إلى 555 مليون سنة مضت فقط.
- حديثا، وجد المؤلف وزملاؤه دليلا من الأحافير يدعم التاريخ الأقدم: كائنات مجهرية في رواسب صينية يرجع عمرها إلى ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة.
- إن الأحافير الصغيرة لا تدعم فقط التاريخ القديم لبداية الحياة الحيوانية المعقدة، وإنما توضح أيضا أن التعقيد الداخلي نشأ وتطور قبل أن تتطور الزيادة في الحجم.

(*) THE EARLY EVOLUTION OF ANIMALS
(**) Overview / Older Than We Thought
(***) Molecular Clocks and Lagerstatten
(1) fossils المستحاثات.
(2) bilaterian
(3) burst



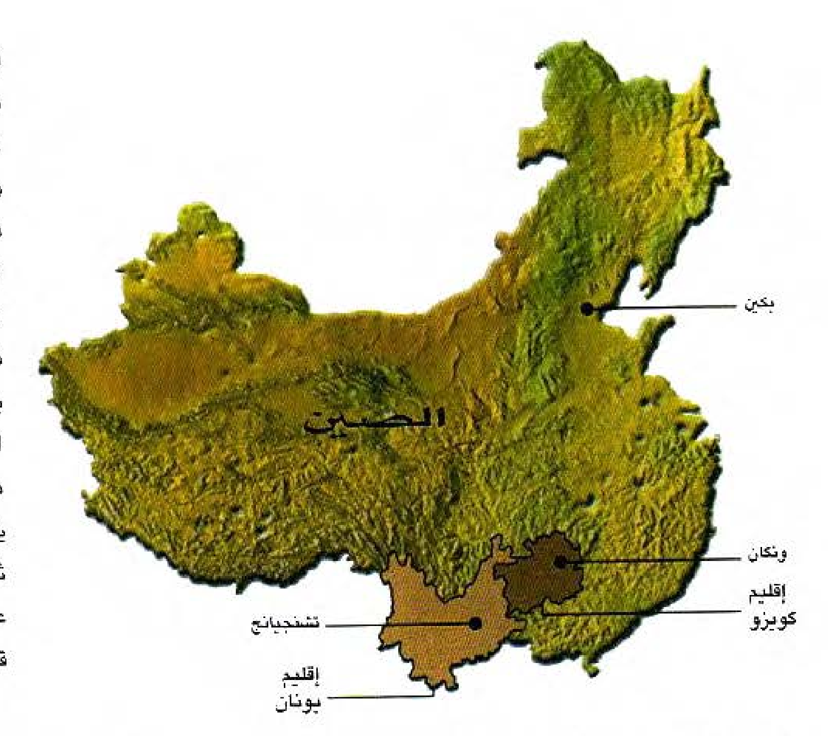
إنه أقدم الأحافير الحيوانية التي اكتُشفت حتى الآن، ويظهر تماثلا جانبيا، وهو ڤرنانيملكيولا الذي كان يعيش في البحار قبل ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة. هذا الشكل من إعادة البناء يكبِّر الحيوان لإظهار مدى تعقيده، لقد كان في حياته بحجم النقطة التي في نهاية هذه الجملة.

ولتقدير توقيت منشأ المجموعات الحيوانية الرئيسية المختلفة، استخدم <G. وراي> وزملاؤه [من جامعة ديوك] معدل ساعة جزيئية يعتمد على الحيوانات الفقارية. وتفترض نتائجهم، التي نُشرت عام 1996، أن متماثلات الجانبين تفرعت من حيوانات أكثر بدائية في وقت موغل في القدم خلال **العصر ما قبل الكامبري** Precambrian era، يبلغ 1.2 بليون سنة.

وأظهرت الدراسات التالية باستخدام الساعة الجزيئية تقديرات لهذا الانشقاق تختلف اختلافات ذات دلالة تراوح بين قديم يبلغ بليون سنة وحديث عند ما قبل العصر الكامبري مباشرة. وقد أدت هذه الاختلافات في التقدير بطبيعتها إلى الشك في التقنية المستخدمة. وتناولت دراسة حديثة قام بها <K. بيترسون> وزملاؤه [من كلية دارتموث] بعض هذه الجوانب. وبوجه خاص استخدموا معدل ساعة جزيئية مشتقا من اللافقاريات وهو أبطأ من المعدل المعتمد على الفقاريات.

لقد وضع هذا البحث السلف المشترك الأخير لمتماثلات الجانبين عند تاريخ أحدث كثيرا، رغم بقائه أقدم من الانفجار الكامبري في الفترة بين 656 و 573 مليون سنة مضت. وحتى هذا التاريخ أشعل الاختلاف: وهكذا صار واضحا أن الأحافير الفعلية هي وحدها التي سوف تقدم دليلا لا يقبل الجدل على توقيت ظهور متماثلات الجانبين. وقد أعطى هذا التحقق دافعا كبيرا لعلماء الأحافير للخروج إلى الحقل للبحث عن أحافير أقدم من العصر الكامبري، وكنتُ واحدا من هؤلاء العلماء الذين تحمسوا للبحث عن تلك العينات المراوغة.

إن إحدى المشاكل الكبرى في البحث عن هذه الحيوانات هي أنه لم يكن لها



احتفظ توضُّعان في الصين ببقايا حيوانات لينة الجسم تقدم معلومات جديدة عن التطور المبكر. ففي عام 2004 اكتشف المؤلف وزملاؤه أقدم الحيوانات المتماثلة الجانبين في صخور تم جمعها من تكوينات دوشانتو التي يصل عمرها إلى ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة بالقرب من ونجان. وترجع أهمية ذلك إلى أن الأحافير الصغيرة من رواسب عمرها نحو 525 مليون سنة بالقرب من تشنجيانج قد وسّعت فهمنا للانفجار الكامبري.

هياكل صلبة يمكن أن تتمعدن وتصبح أحافير، لذا كان علينا أن نعتمد على الترسيب النادر الذي يحتفظ - بسبب نوعية الصخر والعمليات الكيميائية المعقدة المتضمَّنة في توضعه - بالتفاصيل المعقدة للبقايا العضوية. ويطلق على هذه الترسيبات «لاجَرْستاتِن»، وهي كلمة ألمانية معناها «المناطق أو القنوات الرئيسية» أو «المناطق الأم». إن المنطقة الرئيسية التي تحتفظ بنسيج لين تعتبر ندرة مثيرة، لا نعرف منها سوى بضع عشرات مبعثرة على سطح الأرض، لعل أشهرها راسب حجر سولنوفن الكلسي (الجيري) بألمانيا، الذي يحوي عينات تحتفظ بريشها عمرها 150 مليون سنة لطائر الأركيوبتيركس الذي يعتبر عامة أول أحفورة للطيور. وفي كولومبيا البريطانية يُظهر طفل «بورگس شيل»، وهي رواسب أقدم اكتسبت شهرتها من كتابات <G .S. گولد>[1]، وفرة من كائنات عجيبة لينة الجسم من المحيطات القديمة للعصر الكامبري.

لقد قدمت إحدى المناطق الرئيسية الأقدم من طفل بورگس، في منطقة تشنجيانج بإقليم يونّان بالصين اكتشافات مهمة حديثة كثيرة عن كائنات لينة مميزة أيضا للانفجار الكامبري. وكما في بقع عديدة على الكوكب، تؤوي مناطق إيدياكارا - التي سميت باسم جبال إيدياكارا الأسترالية التي وجد فيها أول مثال - أحافير غريبة لينة الجسم لما قبل العصر الكامبري وجحورا وملاجئ حيوانية تضم دليلا على متماثلات الجانبين مبكرة.

ومما يدعو إلى الدهشة أن مجموعتين من علماء البيولوجيا الأحفورية أعلنتا عام 1998 عثورهما على أحافير تحتفظ بنسيج لينة واضحة في منطقة رئيسية أخرى هي تكوينات دوشانتو Doushantuo Formation في إقليم كويزو بجنوب الصين. وتحتوي هذه الرواسب على إسفنجيات دقيقة لينة الجسم ولاسعات وبعض البيوض والأجنة الصغيرة جدا. ويتكون الراسب الذي توجد فيه من معدن فوسفات الكالسيوم (الأباتيت) الذي حل بدقة شديدة محل النسج اللينة لهذه الأحافير. وتوضح الدراسات الأخيرة أن هذه الصخور أقدم من أحياء إيدياكارا بما يقرب من 580 إلى 600 مليون سنة، ومن ثم فإن الأحافير الدقيقة التي تحويها قد عاشت ما يراوح بين 40 و 50 مليون سنة قبل العصر الكامبري.

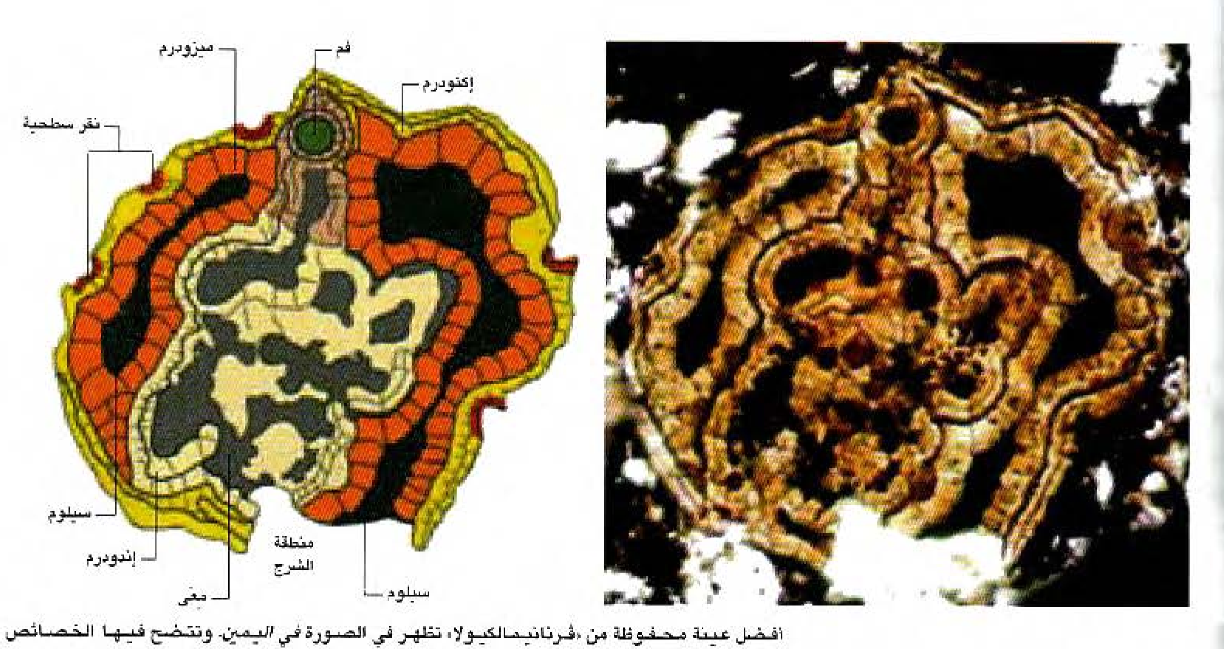
إذًا هيّا بنا إلى الصين(*)

سرعان ما تحقق المهتمون منا بنشوء الحيوانات من أن تكوينات دوشانتو قد تكون هي النافذة التي نلقي منها نظرة خاطفة على الحياة المبكرة لمتماثلة الجانبين. وهكذا تجمع فريق منا في خريف 1999، بإلحاح من <E. دافيدسون> [عالم البيولوجيا الجزيئية بمعهد كاليفورنيا للتقانة] لدراسة الأحافير الدقيقة في دوشانتو. وقد ضم الفريق أيضا <تشن> و <Y.-Ch. لي> اللذين كانا ضمن أوائل الباحثين الذين وصفوا البيوض والأجنة في تكوينات دوشانتو. ويعتبر <لي> [وهو أستاذ في جامعة تسنج هوا الوطنية] خبيرا في التمعدن الحيوي، أما <تشن> فله خبرة طويلة في دراسة الحياة المبكرة للحيوان من خلال عمله الرائد عن المنطقة الرئيسية في تشنجيانج في العصر الكامبري الأسفل.

أومأت مجساتنا الأولية إلى أن طبقة

(*) And So to China

(1) انظر "The Evolution of Life on Earth." *Scientific American*, October 1994



أفضل عينة محفوظة من «فِرنانيمالكيولا» تظهر في الصورة *في اليمين*. وتتضح فيها الخصائص التشخيصية لحيوان متماثل جانبيا: جسم متعدد الطبقات. بتجاويف مزدوجة تسمى السيلومات، وفم ومعى. ويظهر *الرسم في اليسار* المعالم المميزة [الشرج غير محفوظ في هذه العينة، وموضعه محدد على أساس ما هو موجود في عينات أخرى].

رسوبية رقيقة نسبيا سوداء اللون قد تكون هي الواعدة في اكتشاف مجموعة متنوعة من الأحافير الدقيقة. واستخدم باحثون آخرون في الموقع نفسه الأحماض لإذابة المادة الخلالية للأحجار في المختبر. ولسوء الحظ كانت تقنية الإذابة بالحمض غير ناجحة مع طبقة الصخر السوداء التي هدفنا إليها، وعلى ذلك اتجهنا إلى وسيلة أخرى: لقد جمعنا أكواما كبيرة من هذا الصخر الأسود وأحضرناها إلى مختبر «تشن» في مركز أبحاث الحياة المبكرة بمعهد نانينغ للجيولوجيا والأحافير في إقليم يونان المجاور، حيث كانت تتجه شاحنة النفايات عندما أعلن «تشن» نبوءته عن متماثل الجانبين.

وفي إقليم يونان، حيث عدنا بصخورنا، قمنا بتقطيع العينات إلى آلاف المقاطع الرقيقة جدا لدرجة الشفافية والتي عند وضعها على شرائح زجاجية يمكن فحصها تحت المجهر. لقد جهزنا أكثر من 10 000 من هذه الشرائح، وهو عمل ضخم ألقى «تشن» ومساعدوه أنفسهم فيه بتفاؤل ونشاط. لقد استغرق التحليل الجاد لآلاف الشرائح عدة سنوات وأظهر أعدادا ضخمة من البيوض والأجنة وأكد وجود إسفنجيات يافعة دقيقة ولاسعات كان قد سبق الإعلان عن وجودها.

ولكن بطبيعة الحال كانت بؤرة اهتمامنا في البحث هي متماثلات الجانبين، فهل تضمنت حصيلتنا في شاحنة النفايات إحداها؟ في صيف عام 2003 بدأنا بالتركيز على أحد أنواع الأحافير الدقيقة التي أثارت اهتمامَنا خصائصُها المورفولوجية المعقدة. وقد استطعنا تحديد عشرة أمثلة من هذا النوع بين عشرة آلاف شريحة. وفي أوائل عام 2004، وبعد شهور من التحاليل، استطعنا أن نستنتج أن هذا الكائن الدقيق يبدي الخصائص الأساسية لمتماثل الجانبين، وهذا ما كنا نبحث عنه!

تُعد هذه الأحافير المجهرية التي يراوح عرضها بين 100 و 200 ميكرون، وهو عرض بضع شعرات آدمية، معقدة إلى حد يدعو إلى الدهشة وتكاد تشكل مثالا في أحد الكتب المرجعية لمتماثل الجانبين متضمنا الطبقات النسيجية الرئيسية الثلاث (الإندودرم والميزودرم والإكتودرم المعروفة من كتب البيولوجيا بالمدارس الثانوية)، ووجود مِعى بفم وشرج، وتجويفين للجسم يحيطان بالمِعى. ولعل هذا المخلوق البيضاوي الشكل الذي يشبه قرصا صمغيا صغيرا، كان ينطلق على قاع البحر ليتغذى. وفي أحد طرفي الشكل البيضاوي كان الفم يمتص الميكروبات كالمكنسة الكهربائية، وربما كانت النُّقر على جانبي الفم أعضاء حسية.

لقد أطلقنا على ما وجدناه اسم فِرْنانيمالكيولا vernanimalculo وتعني «الحُيَيْوِين الربيعي»، ويشير الاسم إلى الشتاء الطويل لـ«كرة الأرض الثلجية»، عندما غطت الثالج الكوكب[1]؛ والصخور المحتوية على الحييوين الربيعي تعلو قليلا الصخور التي تحدد الحدث الجليدي الأخير.

تراث حيوان ربيعي صغير[*]

يدل التعقيد البيولوجي الموجود في فِرنانيمالكيولا على فترة من التطور ظهرت

(*) Legacy of a Small Spring Animal

(1) انظر: "Snowball Earth," by Paul F. Haffman - Danieli P. Schrage; *Scientific American*, January 2000.

مكان أحفورة ضئيلة في التاريخ(*)

كان المعتقد سابقا أن تطور حياة الحيوان المعقدة قد بدأ بحركة مفاجئة أثناء العصر الكامبري المبكر، وهو حَدَثٌ عادة ما يشار إليه بالانفجار الكامبري. بيد أن اكتشاف الحُيَيْوِن الربيعي المجهري عام 2004 بوساطة المؤلف وزملائه يدفع بنشأة الحياة المعقدة للحيوان إلى الوراء، بنحو 50 مليون سنة قبل العصر الكامبري.






طويلا قبل دنيا الـ580-600 مليون سنة التي عاش فيها هذا الحيوان الدقيق. وعلى أية حال، لم يكن بمستطاعه أن يكتسب هذه الدرجة من التماثل والتعقيد بشكل فجائي. وعلينا حاليا أن نبحث عن مناطق رئيسية أقدم قد تحوي مفاتيح عن أسلافه.

وعلينا أيضا أن نتحرك زمنيا للأمام في محاولة لفك طلاسم ما حدث لسلالاته. إن ما نعرفه عن الحياة أثناء الفجوة بين الحُيَيْوِن الربيعي ومخلوقات الانفجار الكامبري بعد ذلك بنحو 40 إلى 55 مليون سنة، يأتي مبدئيا من دراسات المناطق الرئيسية التي تحتوي على أحياء الإيدياكارا، وهي **طَبْعات** impression **وقوالب** casts لكائنات لينة الجسم كانت أكبر إلى حد مقبول من الحُيَيْوِن الربيعي تراوح في أحجامها بين السنتيمترات وتبلغ حتى متر. وقد أكدت اكتشافات حديثة لـ<G. ناربون> وزملائه [من جامعة كوين بأونتاريو] وجودَ هذه الحيوانات منذ نحو 575 مليون سنة؛ بيد أننا لا نجد أحافير تمثل متماثلات الجانبين إلا في أمثلة

المعنى الحقيقي للانفجار الكامبري(**)

يعتبر الانفجار الكامبري عامة زيادة مفاجئة في أنواع الحيوانات المتماثلة الجانبين ـ التي تتوازن فيها الأطراف والأعضاء بين الجانبين الأيمن والأيسر. إلا أن القصة أكثر تعقيدا وأكثر إثارة من ذلك. لقد أظهرت الدراسات الحديثة أن تفاعلات سريعة ومفاجئة بين الحيوانات قد أدت دورا كبيرا في هذه الزيادة في التنوع.

أولا، بدأت الحيوانات بتغيير البيئة، وخلقت الظروف الجديدة الفرص والحواجز، كليهما، للحيوانات الأخرى المقيمة في الدنيا القديمة. فعلى سبيل المثال، تكيفت حيوانات ما قبل العصر الكامبري، التي عاشت على قاع البحر، للحركة على الوسائد الميكروبية الوثيرة التي غطت معظم قعر المحيطات وكانت جزءا من النظام البيئي منذ نشأت الحياة. وفي بداية العصر الكامبري (الذي استمر ما يراوح بين 542 و 588 مليون سنة مضت)، مكنت الإبداعات التطورية الحيوانات المتماثلة الجانبين من الحفر عموديا في الرواسب، وأدى الحفر إلى تدمير الوسائد الوثيرة السائدة وحل محلها سطح غير ثابت جساني القوام. وفي مقابل ذلك تفاعلت كائنات أخرى لهذه الزيادة في التعكير الحيوي بتطوير تكيفات للمعيشة في البيئات الجديدة.

ثانيا، يحدد العصر الكامبري المبكر الزمن الذي اكتشف فيه علماء الأحافير البيولوجيون أول ظهور للمفترسات المتماثلة الجانبين التي تطورت لالتهام الحيوانات الأخرى. وعلى سبيل المثال، سجل <Y-Y. تشن> و<D. Y. هوانج> [من الأكاديمية الصينية للعلوم في نانينج] مع آخرين بضعة أنواع جديدة من المفترسات من منطقة تشنجيانج الرئيسية في الصين، وتضم هذه الأنواع مفصليات أرجل بزوائد أمامية غريبة لاصطياد الفريسة (أسفل)، وديدانا حفارة تحركت تحت سطح قعر البحر وتغذت بحيوانات أخرى صغيرة.

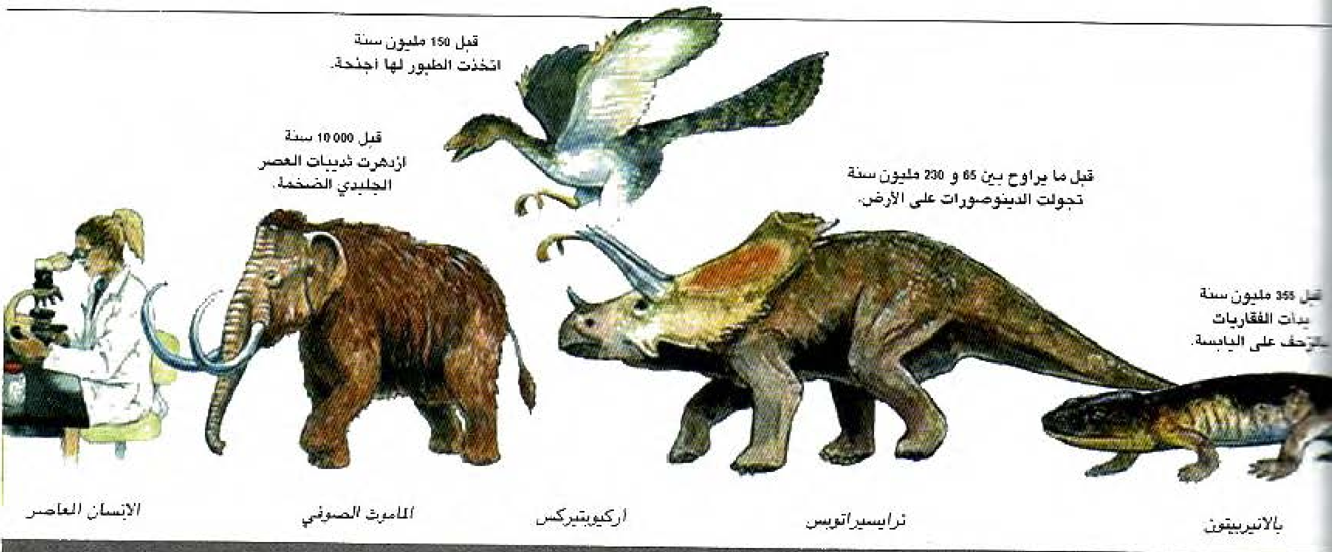
لقد أدت هذه التفاعلات البيولوجية دورا قويا في التطور المبكر للحيوانات، وعلى الرغم من ذلك ـ كما ذهبت إليه <C. مارشال> [من جامعة هارفارد] وكما تدعمه مكتشفاتنا ـ فإن عُدة الأدوات الوراثية وميكانيكية تكوين النمط المميزة لمتماثلة الجانبين، قد نشأت غالبا مع الانفجار الكامبري. وعلى ذلك «انفجار» الطُّرُز الحيوانية كان، بمعنى أدق، استثمارا للظروف الجديدة بوساطة الحيوانات التي طورت أدواتها الوراثية للاستفادة من هذه البيئات الجديدة أكثر منه تغييرا أساسيا في التركيبة الوراثية للحيوانات.

<D.J.B.>


الحيوان المفترس الباكر هايكوكارس [يبلغ نحو أربعة سنتيمترات طولا].

(*) A Tiny Fossil's Place in History

(**) The Real Meaning of the Cambrian Explosion



عمرها 555 مليون سنة أو أصغر. وعلى النقيض من الحييوين الربيعي المتناهي الصغر كانت هذه المتماثلات الجانبين من الإيدياكارا كائنات تُرى بالعين المجردة مثل كمبيريلا، وهو كائن لين الجسم يعيش في البحار يبلغ طوله نحو 10 سم، وربما كان سلفا للرخويات التي تضم اليوم في البحار الأصداف والقواقع والحُبار. ولسوء الحظ لم تظهر أي من رواسب الإيدياكارا التي اكتشفناها حتى الآن الخلفية المعدنية الضرورية للحفاظ على المخلوقات المجهرية. ولكي نعرف ما إذا كانت متماثلات الجانبين المجهرية قد عاشت جنبا إلى جنب مع مخلوقات الإيدياكارا الأكبر حجما، لا بد أن نجد رواسب لأحافير من عمر الإيدياكارا لها الحفظ نفسه الموجود في مكونات دوشانتو الأقدم عمرا.

وعلى الرغم من أنه لا يمكننا حتى الآن أن نقتفي أثر أسلاف الحُيَيْوين الربيعي وسلالاته، فقد أظهرت هذه الأحافير الدقيقة خطوة دقيقة في التطور؛ فهي تبين أن متماثلات الجانبين كانت لها القدرة على تكوين أجسام معقدة قبل أن تكون لها القدرة على تكوين أجسام أكبر حجما.

ويتفكر العلماء حاليا فيما أدى إلى الزيادة في حجم الأجسام. والتفسير الأقرب إلى ذلك هو أن زيادة كبيرة في الأكسجين الذائب في مياه البحر هي الدافع إلى ذلك، فالأكسجين الزائد للتنفس يقلل من القيود المفروضة على الحجم.

لا شك في أن الحُيَيْوين الربيعي يعطي علماء الأحافير دوافع جديدة للخروج للبحث عن أحافير لحيوانات لينة الجسم. ومازال أمامنا الكثير لنتعلمه، إلا أن الدراسة حتى الآن تعطينا الدليل على شكنا من قبل في أن الحيوانات المعقدة لها جذور أعمق في التاريخ، مما يشير إلى أن العصر الكامبري كان، بدرجة أقل انفجارا، وبدرجة أكبر ازدهارا للحياة الحيوانية. ■

المؤلف

David J. Bottjer

هو عالم أحافير ركّز أبحاثه على أصل الحيوانات وتاريخها التطوري اللاحق على الأرض. ولقد دخل إلى هذا الموضوع بأسلوب بيّن تخصصي، أدى به إلى التعاون مع زملاء متمرسين في البيولوجيا النمائية (التطورية) والبيولوجيا الجزيئية والمعلوماتية والكيمياء الجيولوجية. حصل على الدكتوراه في الجيولوجيا من جامعة إنديانا؛ وهو حاليا أستاذ للعلوم الجيولوجية والبيولوجية في جامعة ساذرن كاليفورنيا، ورئيس للجمعية الباليونتولوجية (2004-2006) ورئيس تحرير دورية Palaeogeography, Palloclimatology, Palaeoecology (علوم الجغرافيا والمناخ والإيكولوجيا القديمة).

مراجع للاستزادة

Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils. J. William Schopf. Princeton University Press, 2001.

Evolution: The Triumph of an Idea. Carl Zimmer. Perennial (HarperCollins), 2002.

Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Andrew H. Knoll. Princeton University Press, 2003.

On the Origin of Phyla. James W. Valentine. University of Chicago Press, 2004.

University of California, Berkeley, Museum of Paleontology Web site: www.ucmp.berkeley.edu

Scientific American, August 2005

حول عمل مفاعل نووي قديم(*)

قبل نحو بليوني عام، خضعت أجزاء من توضعات اليورانيوم الإفريقية لانشطارات نووية بعوامل طبيعية. وقد بدأت للتو تتضح تفاصيل هذه الظاهرة غير الاعتيادية.

<A .P. ميشيل>

في الشهر 1972/5، لاحظ أحد العاملين في محطة معالجة الوقود النووي بفرنسا أمرا مريبا؛ إذ كان يقوم بتحليل روتيني لعينات من اليورانيوم المستمد من خامة مصدرها كما يبدو اعتيادي. وكما هي الحال مع اليورانيوم الطبيعي، فإن العينات المحللة تضمنت ثلاثة نظائر isotopes ـ أي، ثلاثة أنماط ذات كتل ذرية atomic masses مختلفة وهي: اليورانيوم 238 الأكثر وفرة بينها، واليورانيوم 234 الأكثر ندرة، واليورانيوم 235 النظير المرغوب لتحقيق **التفاعل النووي المتسلسل** nuclear chain reaction. وسواء كان ذلك في أي مكان من قشرة الأرض أو على سطح القمر أو حتى في النيازك المتساقطة، تشكل ذرات اليورانيوم 235نسبة 0.720 في المئة من الإجمالي. ولكن في العينات التي أُحضرت من **توضعات (مكامن)** deposit أوكلو في الكابون (المستعمرة الفرنسية سابقا في غرب إفريقيا الاستوائية)، وُجد أن نسبة اليورانيوم 235 كانت 0.717 في المئة فقط. وكان هذا الاختلاف الضئيل كافيا لتنبيه العلماء الفرنسيين على أن شيئا غريبا قد حصل. فقد أظهرت التحاليل الإضافية أن الخامة الواردة من أحد مواقع المنجم كانت تحتوي على نسبة أقل من اليورانيوم 235، وبدا أن نحو 200 كيلوغرام قد فُقدت ـ وهذه الكمية تكفي لصنع ما يقارب نصف دزينة من القنابل النووية.

عُثر على مفاعلات انشطار طبيعية في «الكابون» فقط، بمنجم لليورانيوم في أوكلو وبمناجم أوكلوبوندو المتاخمة، وفي موقع يبعد 35 كيلومترا عنهما يسمى بانكومبي.

بقي المختصون في هيئة الطاقة الذرية الفرنسية (CEA) مذهولين لأسابيع. ولم يأت الجواب إلا عندما تذكر أحدهم نبوءة نُشرت قبل 19 عاما. ففي عام 1953، أشار العالمان <G .W. وذريل> [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] و<M .G. إنكرام> [من جامعة شيكاغو] إلى احتمال أن تكون بعض توضعات اليورانيوم قد عملت مرة كنموذج طبيعي لمفاعلات الانشطار النووية، التي صارت شائعة حينذاك. وبُعيد ذلك، استطاع العالم الكيميائي <P .K. كورودا> [من جامعة أركنساس] حساب احتياجات جسم من خامة اليورانيوم لكي يخضع **لانشطار تلقائي مستدام ذاتيا** self-sustained fission. وفي هذه العملية، يتسبب نترون شارد في انقسام نواة اليورانيوم 235، التي تعطي نترونات أكثر تؤدي بدورها إلى انقسام ذرات أخرى في تفاعل نووي تسلسلي.

لقد كان شرط «كورودا» الأول أن تزيد أبعاد توضعات اليورانيوم عن **الطول الوسطي** average length الذي تجتازه النترونات المسببة للانشطار، وهو تقريبا ثلثا المتر. وساعد هذا المطلب على ضمان أن النترونات التي تمنحها نواة منشطرة واحدة سوف تُمتَص من نواة أخرى قبل أن تهرب من **عِرق اليورانيوم** uranium vein.

والشرط الثاني أن يتوافر اليورانيوم 235 بشكل كاف. وفي أيامنا هذه لا تستطيع حتى

نظرة إجمالية/ المفاعلات الأحفورية(**)

- قبل ثلاثة عقود، اكتشف علماء فرنسيون ان اجزاء من توضعات اليورانيوم التي جرى تعدينها في الكابون قد عملت منذ زمن بعيد عمل مفاعلات نووية طبيعية.
- استعمل المؤلف وزملاؤه مؤخرا قياسات غاز الزينون (أحد نواتج انشطار اليورانيوم) لاستقراء ان احد هذه المفاعلات القديمة قد عمل وفقا لدورة تشغيل (نبضية) تتكون من نصف ساعة عمل مقابل ما لا يقل عن ساعتين ونصف من التوقف.
- قد يكشف مزيد من دراسات الزينون المحتجز ضمن المعادن نشوء مفاعلات نووية طبيعية في أمكنة أخرى. ولكن في الوقت الحالي، تبقى النماذج المكتشفة في الكابون إطلالات فريدة على التغيرات الممكنة في الثوابت الفيزيائية الأساسية وعلى كيفية هجرة النفايات النووية المطمورة عبر الزمن.

(*) THE WORKINGS OF AN ANCIENT NUCLER REACTOR
(**) Overview / Fossil Reactors

تسلسل الانشطار(*)

نترون حر

يورانيوم 235

ناتج انشطار

مهدئ

نترون متحرر

ناتج انشطار

تبدأ التفاعلات النووية التسلسلية عندما يرتطم نترون حر مُفْرد بنواة ذرة انشطارية، مثل اليورانيوم 235 (أعلى اليسار). عندها تنشطر النواة، فتنشأ ذرتان أصغر وتتحرر نترونات أخرى، تطير بعيدا بسرعات عالية، يجب تبطئتها قبل أن تتمكن من إحداث انقسام في نوى انشطارية أخرى. في توضعات أوكلو، تماما مثل ما يحدث حاليا في المفاعلات النووية التي تستخدم الماء الخفيف، فإن عامل التبطيء (أو «المهدئ») كان الماء العادي. لكن مفاعلات أوكلو اختلفت عن مفاعلات اليوم بطريقة التنظيم regulation. فبينما تستخدم محطات الطاقة النووية قضبان التحكم الماصّة للنترونات، بقيت مفاعلات أوكلو تسخن حتى يتبخر الماء منها.

أكثر توضّعات اليورانيوم ضخامة وتركيزا أن تصبح مفاعلا نوويا، لأن تركيز اليورانيوم 235، أقل من 1 في المئة، منخفض جدا. لكن هذا النظير مشع وتفككه أسرع بنحو ست مرات من تفكك اليورانيوم 238، مما يشير إلى أن الجزء الانشطاري كان أعلى في الماضي البعيد. وعلى سبيل المثال، قبل بليوني عام (تقريبا من بدء تشكل توضعات أوكلو) وجب أن يكون اليورانيوم 235 قد شكّل نسبة تقارب 3 في المئة، وهي تقريبا المستوى الذي يتم الوصول إليه صُنْعيا باليورانيوم **المخصب** enriched، المستخدم وقودا في غالبية محطات الطاقة النووية.

والمكوّن الثالث المهم هو «مُهَدِّئ» النترونات، وهو مادة تستطيع إبطاء النترونات الناتجة عند انقسام نوى اليورانيوم بحيث تصبح هذه النترونات أكثر ملاءمة لإحداث انقسامات في نوى اليورانيوم الأخرى. أخيرا، يتوجب عدم وجود كميات كبيرة من البورون أو الليثيوم أو مواد أخرى تدعى السموم، التي تمتص النترونات وتتسبب في إيقاف أي تفاعل نووي.

وللغرابة، فإن الشروط الواقعية التي سادت قبل بليوني عام في 16 موقعا منفصلا حددها الباحثون ضمن مناجم اليورانيوم في أوكلو وقرب أوكلوبوندو كانت قريبة جدا مما وصفه <كورودا>. وقبل عقود جرى تعرّف كافة هذه المناطق. ولكنه مؤخرا فقط أوضحتُ وزملائي التفاصيل الكبرى لما حدث بالتحديد داخل واحد من هذه المفاعلات القديمة.

البرهان موجود في العناصر الخفيفة(**)

أكد الفيزيائيون الفكرة الأساس وهي أن التفاعلات الانشطارية الطبيعية كانت مسؤولة عن **استنفاد** depletion اليورانيوم 235 في أوكلو مباشرة بعد اكتشاف اليورانيوم **الشاذ** anomalous: ومن ثم أتى البرهان القاطع جراء اختبار العناصر الجديدة الأخف التي تنشأ عند انقسام النواة الثقيلة؛ إذ تبيّن أن وفرة نواتج الانشطار كانت كبيرة بحيث لا يمكن وضع أي استنتاج آخر. ومن ثم فإن تفاعلا نوويا تسلسليا ذاتي المنشأ يشابه تماما ذلك الذي أثبته <E. فرمي> وزملاؤه في عام 1942 قد حدث مؤكدا قبل نحو بليوني عام.

وبُعيد هذا الاكتشاف المدهش بقليل، عكف الفيزيائيون من مختلف أنحاء العالم على دراسة الدليل عن هذه المفاعلات النووية الطبيعية، ثم جاؤوا للإسهام بأعمالهم حول «ظاهرة أوكلو» في مؤتمر خاص عقد في ليبرڤيل، عاصمة الگابون، عام 1975. وفي السنة التالية، كتب <A. G. كووان> [ممثل الولايات المتحدة في ذاك المؤتمر؛ وهو، للمصادفة، أحد مؤسسي معهد سانتا فيه الشهير، ولا يزال منتسبا له] مقالة لمجلة ساينتفيك أمريكان(1) شرح فيها ما ساور العلماء من ظنون حول عمل هذه المفاعلات القديمة.

على سبيل المثال، وصف <كووان> كيف أن بعض النترونات المتحررة أثناء انشطار

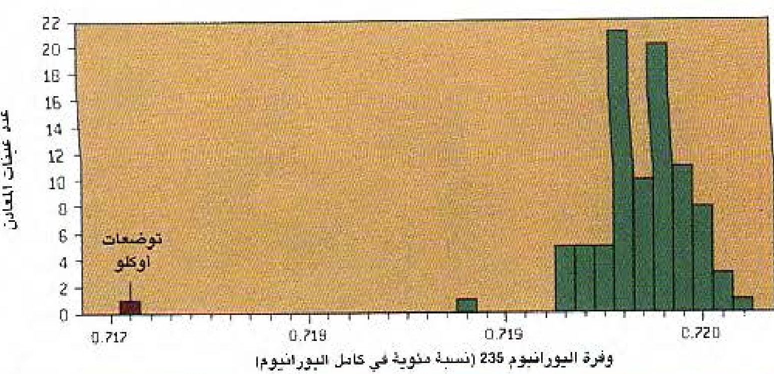
(*) Fission Up Close

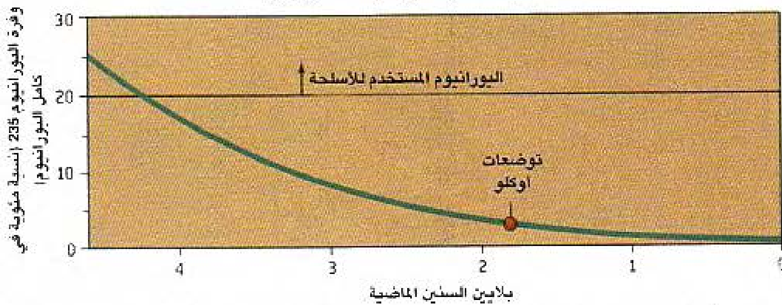
(**) Proof in the Light Elements

(1) انظر: "Natural Fission Reactor," by George A. Cowan, Scientific American, July 1976.



أظهر التعدين المكشوف (السطحي) لتوضعات اليورانيوم في منجم أوكلو بالگابون أكثر من دزينة من المواقع حدث فيها انشطار نووي ذات مرة.





عموما، تُشكِّل ذرات اليورانيوم 235 نحو 0.720 في المئة من اليورانيوم الطبيعي. لذلك، عندما اكتشف العاملون أن اليورانيوم المأخوذ من منجم أوكلو يحتوي نسبة 0.717 أو أكثر بشيء بسيط، حُق لهم أن يندهلوا. فهذه النسبة تقع في الواقع بعيدة خارج المجال المعهود لمعادن اليورانيوم الأخرى (أعلى). وتفسير ذلك أن نسبة اليورانيوم 235 إلى اليورانيوم 238 كانت في الماضي أكبر بكثير، كما يمكن استقراء ذلك من عمر النصف لليورانيوم 235 الأشد قصرا. وقد سمحت هذه النسبة المرتفعة بحدوث الانشطار، الذي استهلك معظم اليورانيوم 235. عندما تشكلت توضعات أوكلو قبل 1.8 بليون عام، كان المستوى الطبيعي لليورانيوم 235 نحو 3 في المئة ـ وهي تشابه النسبة التي يُصنع بها حاليا معظم أنواع وقود المفاعلات النووية. في البداية، عندما تشكلت الأرض قبل نحو 4.6 بليون عام، تجاوزت النسبة قيمة 20 في المئة، وهو مستوى يُعتبر اليوم اليورانيوم قابلا للاستعمال سلاحا نوويا.

استطاعت مفاعلات أوكلو الحفاظ على قدرة خرج بسيطة ربما لبضع مئات آلاف السنين.

اليورانيوم 235 يتم أسرها من اليورانيوم 238 الأكثر وفرة، فيتحول إلى اليورانيوم 239، الذي بدوره يتحول إلى البلوتونيوم 239 بعد إصدار إلكترونين اثنين. وقد تولّد أكثر من طنين من نظير البلوتونيوم هذا ضمن توضعات أوكلو. ومع أن معظم هذه المادة ـ ذات **عمر نصفي** half-life يبلغ 24 000 سنة ـ قد تتلاشى (بسبب التفكك الإشعاعي الطبيعي بشكل رئيسي)، فقد خضع بعض هذا البلوتونيوم للانشطار، كما يشهد على ذلك وجود نواتج انشطاره المميزة. وقد سمحت وفرة العناصر الخفيفة هذه للعلماء بالاستدلال على أن تفاعلات انشطارية قد استمرت لمئات آلاف السنين. كما استطاع العلماء من كمية اليورانيوم 235 المستهلكة، حساب **الطاقة** energy الإجمالية المحررة فكانت 15 000 ميغاواط/ سنة، ومنها (إضافة إلى البراهين الأخرى) تمكنوا من معرفة **القدرة** power الوسطية المُنتَجة، التي كانت على الأرجح أقل من 100 كيلوواط ـ ما يكفي لتشغيل بضع دزينات من محمصات الخبز.

إنه لذهل حقا أن تبرز للوجود عفويا أكثر من دزينة من المفاعلات الطبيعية وأن تستطيع الحفاظ على قدرة خرج بسيطة ربما لبضع مئات آلاف السنين. فلماذا لم تنفجر هذه الأجزاء من التوضعات وتدمر ذاتها مباشرة بعد حدوث التفاعلات النووية التسلسلية؟ ما هي الآلية التي أتاحت **التنظيم الذاتي** self-regulation الضروري؟ هل عملت هذه المفاعلات بشكل مستمر أم على نحو متقطع؟ ظهرت حلول هذه الأحجيات رويدا رويدا بعد الاكتشاف الأولي لظاهرة أوكلو. وفي الواقع، تأخرت الإجابة عن السؤال الأخير لأكثر من ثلاثة عقود قبل أن أبدأ وزملائي [في جامعة واشنطن بسانت لويس] الانكباب عليه عن طريق فحص قطعة من هذه الخامة الإفريقية المبهمة.

ظواهر الغازات النبيلة(*)

تمحور عملنا مؤخرا حول أحد مفاعلات أوكلو حول تحليل الزينون، وهو غاز ثقيل وخامل، يمكنه البقاء محبوسا ضمن المعادن لبلايين السنين. يمتلك الزينون تسعة نظائر مستقرة تنتج، في نسب متباينة، من عمليات نووية مختلفة. ولكونه غازا نبيلا، فإنه يقاوم الارتباط الكيميائي بالعناصر الأخرى. ولهذا، فمن السهل تنقيته لإجراء **التحليل النظيري** isotopic analysis. فالزينون عنصر نادر جدا، مما يمكّن العلماء من استعماله لكشف التفاعلات النووية واقتفائها، بما في ذلك تلك التي حدثت في النيازك البدائية قبل نشوء النظام الشمسي.

ويلزم لتحليل التركيب النظيري للزينون **مطياف الكتلة** mass spectrometer، وهو أداة يمكنها فصل الذرات بالاعتماد على أوزانها الذرية. وقد كنت محظوظا أن يتاح لي العمل على مطياف كتلة ذي دقة عالية للزينون، وقد ركّبه زميلي <M .C> هوهنبرك> [من جامعة واشنطن]. ولكن قبل استخدام جهازه، كان علينا استخلاص الزينون من عينتنا. عادة ما يقوم العلماء بتسخين المادة المُضيفة، غالبا فوق درجة حرارة الانصهار، بحيث تفقد الصخرة بنيتها البلّورية وتصبح غير قادرة على الحفاظ على مخزونها من الزينون المختبئ فيها. ولفهم المزيد من المعلومات حول نشوء هذا الغاز واحتباسه، تبنّينا طريقة أكثر رهافة، تدعى **الاستخلاص الليزري** laser extraction، وتتسبب في انبعاث الزينون انتقائيا من حبة معدنية وحيدة، مع عدم المساس بالمناطق المجاورة لها.

طبقنا هذه التقنية على العديد من البقع الصغيرة في العينة الوحيدة المتاحة لنا من صخرة أوكلو بسمك مليمتر واحد وبقطر أربعة مليمترات. وبالطبع، احتجنا في البداية إلى أن نقرر أين نوجّه الحزمة الليزرية. هنا، اعتمدتُ و«هوهنبرك» على زميلتنا <O. پراڤديڤتسيڤا>، التي سبق أن شكلت لعينتنا خريطة مفصلة بالأشعة السينية وتعرّفت مكوناتها المعدنية. وبعد

(*) Noble-Gas Ephphanies

كل عملية استخلاص، قمنا بتنقية الغاز الناجم ومررنا الزينون في مطياف هومنبرگ الكتلي، الذي بيّن عدد الذرات لكل نظير متواجد.

كانت المفاجأة الأولى هي تموضع الزينون: إذ لم يكن، كما كنا نتوقع، متوافراً بشكل كبير في الحبّات المعدنية الغنية باليورانيوم. إنما كانت حصة الأسد منه حبيسة في **فسفات الألمنيوم** aluminum phosphate، التي لم تكن تحتوي إطلاقا على اليورانيوم. وعلى نحو لافت للنظر، أظهرت هذه الحبات أعلى تركيز للزينون وُجد في أي مادة طبيعية على الإطلاق. وكانت الظاهرة الثانية أن الغاز المستخلص ذو تركيب نظائري مغاير بشكل جذري لذلك الذي تنتجه التفاعلات النووية في العادة. وبدا أنه فقد جزءا لا بأس به من الزينون 136 و 134، الذي كان بالتأكيد قد نشأ في الانشطار النووي، في حين تحولت النوعيات الأخف من العناصر بنحو أقل.

كيف يمكن لهذا التحول في التركيب النظيري أن يحدث؟ ليس بمقدور التفاعلات الكيميائية القيام بهذا العمل، لأن كافة النظائر متماثلة كيميائيا. ربما التفاعلات النووية، مثل **الأسر النتروني** neutron capture؟ فقد سمحت التحاليل الدقيقة لي ولزملائي برفض مثل هذه الفرضية أيضا. فكرنا أيضا في **التصنيف الفيزيائي** physical sorting الذي يحدث أحيانا للنظائر المختلفة؛ إذ تتحرك الذرات الأثقل ببطء أشد من نظيراتها الخفيفة فتستطيع الانفصال عنها. تعتمد محطات تخصيب اليورانيوم – وهي منشآت صناعية تستلزم مهارات كبيرة لبنائها – هذه الخاصية لإنتاج الوقود النووي. لكن، حتى لو استطاعت الطبيعة أن تنجز بإعجاز عملية مشابهة على **السلم المجهري** microscopic scale، لكان مزيج نظائر الزينون في حبات فسفات الألمنيوم الذي درسناه مختلفا عما وجدناه. على سبيل المثال، لدى قياس المزيج نسبة إلى كمية الزينون 132 المتوفرة، فإنه كان من المفترض أن يكون استنفاد الزينون 136 (كونه أثقل بأربع وحدات كتلة ذرية) مساويا ضعف الزينون 134 (الأثقل بوحدتي كتلة ذرية) لو كان ذلك بسبب التصنيف الفيزيائي. ولكننا لم نلحظ هذا النمط.

لقد تأكدَ فهمنا لتركيب الزينون الشاذ فقط بعد أن فكرنا بعمق حول كيفية تشكل هذا الغاز. لم يكن أيٌّ من نظائر الزينون الذي قسناه نتيجة مباشرة لانشطار اليورانيوم، إنما كان نتاج تفكك نظائر اليود المشعة، والتي بدورها تشكلت من التِلّوريوم المشع. وهكذا،

من المرجح كثيرا أن تكون مفاعلات أوكلو قد عملت على نحو متقطع.

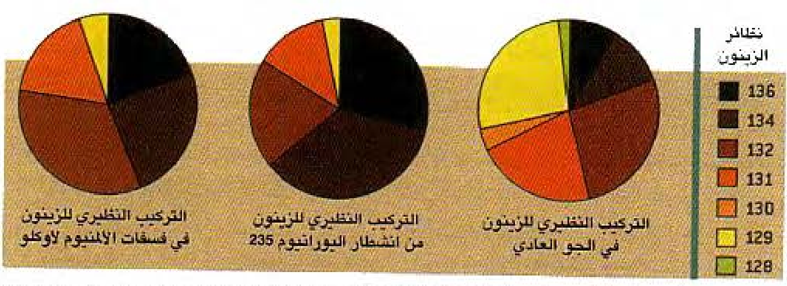
وفقا لتسلسل معروف من التفاعلات النووية التي تعتبر مصدرا للزينون المستقر.

كان فاتحة بصيرتنا إدراك أن نظائر الزينون المختلفة في عينة أوكلو التي بين أيدينا قد نشأت في أزمنة مختلفة – تبعا لجدول زمني اعتمد على أعمار النصف لأبائها من اليود وأجدادها من التلوريوم؛ إذ كلما عاش **سلف مشع** precursor معين مدة أطول تأخر تشكل الزينون منه. على سبيل المثال، بدأ إنتاج الزينون 136 في أوكلو بعد دقيقة واحدة فقط من بدء الانشطار المستدام ذاتيا. وبعد ساعة تشكل النظير التالي الأخف المستقر: الزينون 134. ومن ثم، وبعد عدّة أيام من بدء الانشطار، ظهر الزينون 132 و 131. وأخيرا، بعد مضي ملايين السنين، وبعد توقف التفاعلات النووية التسلسلية بزمن طويل، تشكل الزينون 129.

لو بقيت توضعات أوكلو منظومة مغلقة، لحافظ الزينون المتراكم أثناء عمل المفاعلات الطبيعية في هذه التوضعات على التركيب النظيري المعتاد الناتج من الانشطار. لكن، ليس هناك سبب يدعو العلماء إلى الاعتقاد أن المنظومة كانت مغلقة. وفي الواقع، كان هناك سبب وجيه للاشتباه بعكس ذلك: إذ جاء البرهان من القناعة بحقيقة بسيطة هي أن مفاعلات أوكلو استطاعت بطريقة ما أن تنظم نفسها ذاتيا. والآلية الأكثر ترجيحا هي تأثير المياه الجوفية، التي يُحتمل أنها تبخرت بعد أن وصلت درجة الحرارة إلى مستوى حرج. فبدون وجود الماء، الذي يعمل مهدئا للنترونات، كان من المفترض أن تتوقف التفاعلات النووية التسلسلية مؤقتا. ويعاود الانشطار من جديد فقط بعد أن يبرد الموقع وتنفذ مياه جوفية كافية ثانية إلى منطقة التفاعل.

تُبرز هذه الصورة حول احتمالية عمل مفاعلات أوكلو نقطتين مهمتين: أن الأكثر ترجيحا هو عمل المفاعلات على نحو من النبضات المتقطعة، وأنه كانت هناك كميات ضخمة من المياه تنساب بين الصخور – بشكل كاف لجرف بعض أسلاف للزينون من التِلّوريوم واليود، القابلة للانحلال بالماء. وساعد وجود الماء أيضا على توضيح سبب بقاء معظم الزينون حاليا ضمن حبات فسفات الألمنيوم بدلا من وجوده في المعادن الغنية باليورانيوم والتي تكونت فيها هذه الأسلاف المشعّة بسبب الانشطار. وبكل بساطة لم يهاجر الزينون من مجموعة المعادن الموجودة مسبقا إلى مجموعة أخرى – ومن غير المتوقع تواجد معادن فسفات الألمنيوم قبل أن تبدأ مفاعلات أوكلو بالعمل. وعلى نقيض ذلك، فلربما تشكلت حبات فسفات الألمنيوم في موقعها بفعل الماء **المسخّن نوويا** nuclear-heated، وحالما برد لدرجة حرارة 300 مئوية تقريبا.

لقد تم طرد معظم غاز الزينون (بما في ذلك الزينون 136 و 134، اللذان تولدا بسرعة نسبيا) خلال كل فترة من الفترات النشيطة لعمل مفاعل أوكلو وكذلك لبعض الوقت بعدها، مع بقاء درجة الحرارة مرتفعة. وعندما برد المفاعل، فإن أسلافا للزينون ذات أعمار النصف الأطول (التي ستنتج لاحقا الزينون 132 و 131 و 129، الذي وجدناه بوفرة نسبية) اندمجت مفضلة الحبات النامية لفسفات



أظهر غاز الزينون المستخلص من معادن فسفات الألمنيوم من عينة أوكلو تركيبا نظيريا غريبا (*اليسار*)؛ وذلك بنمط لا يتماشى مع ما هو متوقع من انشطار اليورانيوم 235 (*المركز*)، ولا يتشابه مع التركيب النظيري للزينون الجوي (*اليمين*). ويلاحظ أن كمية الزينون 131 و 132 أعلى وأن كميات الزينون 134 و136 أقل مما هو متوقع من انشطار اليورانيوم 235. ومع أن هذه المشاهدات كانت في البداية محيرة جدا للمؤلف، فقد تحقق لاحقا من أنها المفتاح لفهم آلية عمل المفاعل النووي القديم.

الألمنيوم. بعدئذ، مع عودة مزيد من الماء إلى منطقة التفاعل، أصبحت النترونات مهدأة بشكل مناسب، فعاود الانشطار من جديد، سامحا لدورة التبريد والتسخين أن تتكرر. وكان نتيجة ذلك الانفصال الغريب لنظائر الزينون الذي أمطنا اللثام عنه.

ليس واضحا تماما ماهية القوى التي أبقت الزينون داخل معدن فسفات الألمنيوم لمدة تصل إلى نصف عمر الكرة الأرضية. وبشكل خاص، لماذا لم يُطرد الزينون المتولّد خلال إحدى نبضات التشغيل، أثناء النبضة الثانية؟ من المحتمل أنه حُبس في البنية شبه القفصية لمعدن فسفات الألمنيوم، والتي استطاعت الإمساك بغاز الزينون المُتولد ضمنها، حتى عند درجات الحرارة العالية. تبقى التفاصيل غامضة، لكن ومهما تكن الإجابات النهائية، هناك أمر لا لبس فيه، وهو أن قدرة فسفات الألمنيوم على أسر الزينون مذهلة حقا.

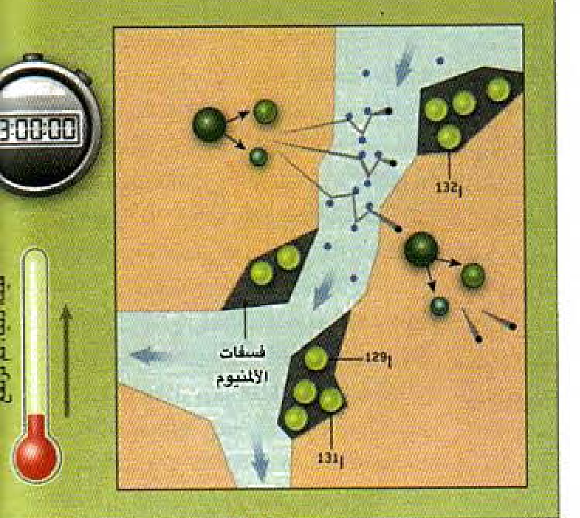
برنامج الطبيعة التشغيلي(*)

بعد أن استنبطتُ وزملائي بشكل عام كيف أن مجموعة نظائر الزينون قيد المراقبة قد نشأت ضمن حبات فسفات الألمنيوم، حاولنا أن ننمذج العملية رياضيا. لقد كشفت النمذجة هذه الكثير حول توقيت تشغيل المفاعل، وأتاحت كافة نظائر الزينون الجواب نفسه تقريبا. إن مفاعل أوكلو الذي درسناه قد عمل مدة 30 دقيقة ومن ثم توقف مدة لا تقل عن 2.5 ساعة. ولا يختلف هذا النمط عما يراه المرء في بعض الينابيع الحارة، التي تسخن ببطء، تغلي حتى يتبخر مخزونها من المياه الجوفية في مشهد مثير، ثم تعود فتمتلئ وتعاود الكرة يوما بعد يوم، وسنة بعد سنة. يدعم هذا التشابه الانطباع بأن المياه الجوفية المنسابة عبر توضعات أوكلو لم تكن مُهدئة للنترونات فحسب، بل كانت أيضا تتبخر بالغليان عند أزمنة أسهمت في تبيان التنظيم الذاتي الذي حمى هذه المفاعلات الطبيعية من الدمار. فقد تبين أن هذه الظاهرة كانت فعالة بشكل مذهل، إذ إنها لم تسمح بانصهار واحد أو انفجار واحد على مدى مئات آلاف السنين.

وللمرء أن يتخيل أن بإمكان المهندسين الذين يعملون في صناعة محطات الطاقة النووية تعلم شيء أو شيئين من مفاعل أوكلو. بالتأكيد يمكنهم ذلك، ربما ليس بالضرورة حول تصميم المفاعل. فالدروس

يكشف الزينون عن تشغيل دوري(**)

تطلبت الجهود لتبرير التركيب النظيري للزينون في أوكلو مراعاة العناصر الأخرى أيضا. فقد جذب اليود بالتحديد الانتباه، لأن الزينون ينشأ عن تفككه الإشعاعي. وقد أظهرت نمذجة نشوء نواتج الانشطار وتفككها الإشعاعي أن التركيب النظيري الغريب للزينون نجم عن التشغيل الدوري للمفاعل. توصف هذه الدورة في اللوحات الثلاث التي في *اليسار*.



كان التنظيم الذاتي فعّالا جدا، بحيث لم يسمح بحدوث انصهار واحد أو انفجار عبر مئات ملايين السنين.

الأكثر أهمية ربما هي حول كيفية التعامل مع **النفايات النووية** nuclear waste. فأوكلو، على الرغم من كل شيء، يمثل نموذجا جيدا **لمستودع جيولوجي** geologic repository طويل الأمد. ولهذا تفحص العلماء، بالتفصيل آلية هجرة نواتج الانشطار المتنوعة بعيدا عن هذه المفاعلات الطبيعية على مدى الزمن. كما، تمحصوا منطقة مشابهة لانشطار نووي قديم وجد في آبار تنقيب استكشافية حُفرت في موقع يبعد نحو 35 كم ويسمى بانگومبي. يلقى مفاعل بانگومبي اهتماما خاصا لكونه أقل عمقا من المناطق غير المنقّبة في مناجم أوكلو و أوكلوبوندو، مما يعني أن الماء كان ينساق خلاله بشكل أكثر أثناء الأزمنة الحالية. عموما، عززت هذه المشاهدات الثقة بأنه يمكن لمختلف أنواع النفايات النووية الخطرة أن تعزل تحت الأرض بنجاح.

يظهر أوكلو أيضا طريقة لخزن بعض أشكال النفايات النووية التي كان يُعتقد سابقا أنه من شبه المستحيل منعها من تلويث البيئة. فمنذ بدء توليد الطاقة النووية، انبعثت إلى الجو كميات ضخمة من الزينون 135 والكريبتون 85 المشعّين، إضافة إلى غازات خاملة أخرى تولّدها المحطات النووية. وتبرهن مفاعلات الانشطار الطبيعية إمكانية احتجاز نواتج النفايات في معدن فسفات الألمنيوم، التي تتمتع بقدرة فريدة على أسر وحبس هذه الغازات لبلايين السنين.

ويمكن لمفاعلات أوكلو أيضا تزويد العلماء بمعلومات حول **انزياحات** shifts ممكنة فيما كان يعتقد في الماضي أنها ثوابت فيزيائية

(*) Nature's Operating Schedule
(**) Xenon Reveals Cyclic Operation



أساسية، ويدعى أحدها ألفا وهو الذي يتحكم في مقادير شاملة مثل سرعة الضوء [انظر: «ثوابت فيزيائية متغيرة»، العلوم، العدد 9 (2005)، ص 32]. فلثلاثة عقود، لاتزال ظاهرة أوكلو، التي تعود إلى بليوني عام، تستخدم لإثبات أن α لم يتغير. ولكن في العام 2004، جذبت أوكلو العالمين <K .S. لامورو> و<J .R. توركرسون> [من مختبر لوس ألاموس الوطني] ليثبتا أن هذا «الثابت» قد تغيّر في واقع الأمر بقدر مهم. (وللغرابة، في الاتجاه المغاير عما اقترحه الآخرون مؤخرا). وتتوقف حسابات «لامورو» و «توركرسون» على تفاصيل محددة حول كيفية عمل أوكلو، وفي ذاك المقام فإن ما قمت به وزملائي قد يساعد على توضيح هذا الموضوع المعقد.

هل كانت هذه المفاعلات القديمة في الگابون هي الوحيدة التي تشكلت على الأرض؟ يجب ألا تكون استثنائية تلك الشروط اللازمة لحدوث انشطار نووي مستدام ذاتيا، كتلك التي نشأت قبل بليوني عام، فلربما يُكتشف في يوم من الأيام مفاعلات طبيعية أخرى. وأتوقع أن بضعة انبعاثات من الزينون يُكشف عنها قد تساعد كثيرا على هذا البحث. ■

المؤلف

Alex P. Meshik

بدأ دراسته الفيزياء في جامعة سانت بطرسبورغ الحكومية بروسيا، وحصل على الدكتوراه من معهد فرنادسكي التابع للأكاديمية الروسية للعلوم عام 1988. وأطروحته للدكتوراه كُرست للجيوكيمياء والجيوكرونولوجي geochronology والكيمياء النووية للغازين النبيلين الزينون والكريبتون. وفي عام 1996، التحق «ميشيك» بمختبر علوم الفضاء في جامعة واشنطن بسانت لويس، حيث يدرس حاليا، من بين أشياء عدّة، الغازات النبيلة الآتية من الريح الشمسية التي جُمعت وأعيدت إلى الأرض بوساطة مركبة الفضاء جنيسيس (أي سِفر التكوين).

مراجع للاستزادة

On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals. Paul Kazuo Kuroda in *Journal of Chemical Physics*, Vol. 25, No. 4, pages 781–782; 1956.

A Natural Fission Reactor. George A. Cowan in *Scientific American*, Vol. 235, No. 1, pages 36–47; July 1976.

Neutron Moderation in the Oklo Natural Reactor and the Time Variation of Alpha. S. K. Lamoreaux and J. R. Torgerson in *Physical Review D*, Vol. 69, No. 12, Paper 121701(R); June 2004. Preprint available at arxiv.org/abs/nucl-th/0309048

Record of Cycling Operation of the Natural Nuclear Reactor in the Oklo/Okelobondo Area in Gabon. A. P. Meshik, C. M. Hohenberg and O. V. Pravdivtseva in *Physical Review Letters*, Vol. 93, No. 18, Paper 182302; October 29, 2004.

Scientific American, November 2005

حواسيب نانوية بقضبان متصالبة[*]

يمكن لتوليفات متصالبة من أسلاك نانوية عطوبة أن تحل محلَّ الدارات السيليكونية المُستعملة حاليا.

<J. Ph> كويكس> ـ <S. G> سنايدر> ـ <S. R> ويليامز>

في غضون ما يزيد قليلا على نصف قرن من الزمن تزايدَ عددُ الترانزستورات على الشيبة السيليكونية من ترانزستور واحد إلى ما يقارب البليون ـ وهو إنجاز عُرِفَ **بقانون مور** Moore's Law. وكان من شأن هذا النجاح غير المسبوق ـ بفضل ما وفَّرهُ من رفع قدرة الآلات الرقمية على معالجة كَمٍّ هائل من الأرقام بسرعة كبيرة، وتنفيذ عمليات منطقية وتخزين بيانات ـ أن يُحدِث تغييرات جذرية في حياتنا اليومية عن طريق تطوير واحدة من كبرى الصناعات على كوكبنا وأبعدها أثرا.

ومع تزايد عدد الترانزستورات التي تُحشَد على الدارات المتكاملة السيليكونية، من المنتظر أن تتقلَّص أطوالُ أصغر الشيبات إلى ما يقارب القياس الجزيئي وذلك على مدى السنوات الخمس عشرة القادمة. ويرى أنصار استعمال الدارات المتكاملة ـ حتى أكثرهم تفاؤلا ـ أن ثمة حاجة إلى إدخال تحسينات أساسية لبلوغ أقصى مستوى أداء للترانزستورات السيليكونية؛ بحيث تتحقق الخصائصُ الوظيفية من خلال شيبة لا يتجاوز طولها 10 نانومترات أو نحو 30 ذرة. ومن الضروري كذلك إيجاد تقانات بديلة قادرة على تقليص حجم الأجهزة الحاسوبية أكثر فأكثر لضمان استمرار التقدم التقاني. وبفضل النجاح الباهر للدارات المتكاملة السيليكونية فإن مستوى أداء أي بديل يحل محلها سيكون عاليا جدا، حيث سيستغرق تطوير دارات أخرى بديلة عقدا من الزمن على الأقل لتكون متاحة عند الحاجة إليها.

يقوم الباحثون في شتى أنحاء العالم باستكشاف بدائل عديدة ومثيرة. **فالحوسبة الكمومية** quantum computing على سبيل المثال تقنية جديدة تستفيد من خصائص كمية ـ ميكانيكية «غريبة» لمعالجة المعلومات. على أنَّ تحقيق هذه التقنية في الواقع قد يستغرق عقودا، بل لا يُعرف بوضوح مدى فائدتها في معظم التطبيقات حتى في حال تحقيقها. لذلك ينبري عدد من مجموعات البحث لإيجاد بديل في المدى المنظور يمكن تسويقه في غضون عشر سنوات. ولكي تكون هذه التقانة قابلة للتطبيق من الناحية الاقتصادية، فلا بد أن تشترك على نطاق واسع مع البنية التحتية لمعالج الدارات المتكاملة، والتي تتضمن عناصر حاسمة، مثل: مسابك تصنيع المعادن ومنصات عمل البرمجيات.

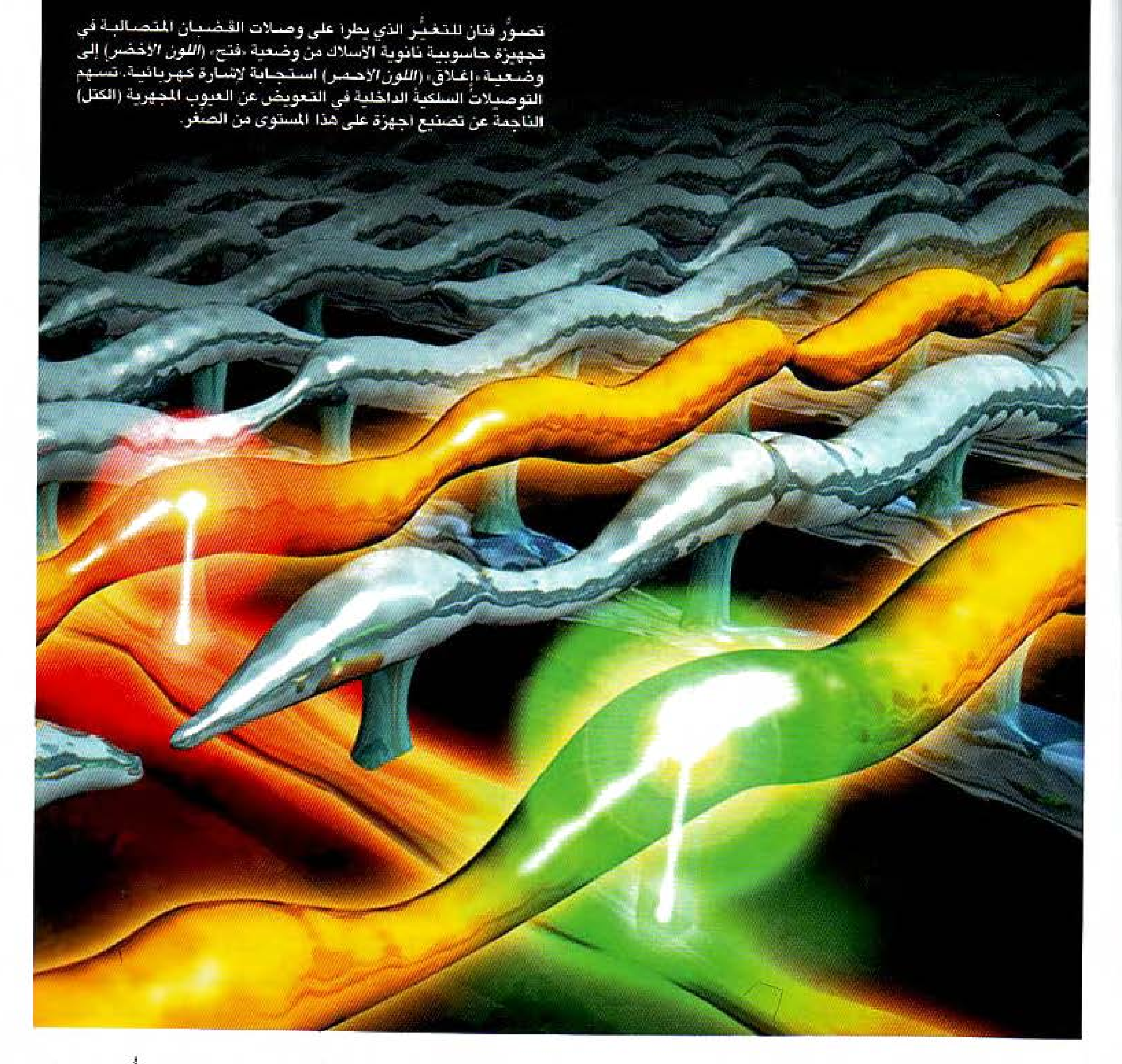
أما فريق أبحاثنا في مختبرات هيوليت ـ پاكارد Hewlett-Packard (HP) فيرى أن أكثر الطرق ملاءمة لتحقيق تقدم في هذا المجال يتمثل في بنيان[2] **القضبان المتصالبة** crossbar architecture. يتألف الواحد من هذه القضبان من مجموعة من الأسلاك النانوية المتوازية (عرضها أقل من 100 ذرة) تتقاطع مع مجموعة ثانية. وتتوضع بين مجموعتي الأسلاك مادة تتنبَّه كهربائيا لنقل كمية أقل أو أكثر من الكهرباء. تؤلف النقاط الناجمة عن تقاطع الأسلاك مفتاحا كهربائيا عند كل نقطة لتقاطع الأسلاك المتصالبة، يمكنه التحكم في حالتي **التشغيل (الوصل)** on **والإيقاف (الفصل)** off طوال الوقت.

وتوفر القضبان المتصالبة عدة فوائد: فالنموذج النظامي للأسلاك النانوية المتصالبة يجعل عملية التصنيع سهلة نسبيا، ولاسيما عند مقارنتها بالبنية المعقدة للمعالجات الميكروية (الصغرية)

نظرة إجمالية/ الإلكترونيات النانوية[**]

- يتطلب التحولُ إلى ما بعد تقانة الشيبات السيليكونية المدمجة الحالية تقليص حجوم الدارات المنطقية ودارات الذاكرة إلى قياسات لا تتعدَّى بضعة نانومترات. وتوفِّر توليفات كبيرة من أسلاك متصالبة نانوية (تسمى القضبان المتصالبة crossbars) أساسا لإحدى أحسن التقانات المرشحة لإحراز نجاح عظيم في مضمار الحوسبة النانوية.
- لما كانت الأسلاكُ النانوية المؤلفة للقضبان المتصالبة متناهية الدقة، فهي بالضرورة عرضة في تصنيعها لعيوب ذرّية قد تكون خطيرة. إلا أن إدخال عناصر إضافية على الدارات، إضافة إلى استعمال تقنيات نظرية التكويد[1] يعوِّضُ عن تلك العيوب الكثيرة.

(*) CROSSBAR NANOCOMPUTERS
(**) Overview / Nanoelectronics
(1) coding theory
(2) أو معمارية.



تصوُّر فنان للتغيُّر الذي يطرأ على وصلات القضبان المتصالبة في تجهيزة حاسوبية نانوية الأسلاك من وضعية «فتح» (*اللون الأخضر*) إلى وضعية «إغلاق» (*اللون الأحمر*) استجابة لإشارة كهربائية. تسهم التوصيلاتُ السلكية الداخلية في التعويض عن العيوب المجهرية (الكتل) الناجمة عن تصنيع أجهزة على هذا المستوى من الصغر.

microprocessors، إذ يتيحُ تركيبُها المنتظم الكشفَ عن طرائق واضحة لإدخال درجة من التسامح بوجود خلل ضمن الدارات. ويمكن إقامة البنية باستعمال مجموعة واسعة من المواد وعمليات المعالجة، مما يوفر مرونة هائلة في تعديل تصاميم جاهزة لمواد جديدة. وأخيرا فإنَّ بإمكان هذا الشكل الهندسي الفريد توفير الذاكرة والمنطق والاتصال البيني، وهذا ما يُكسِبهُ درجة عالية من المطاوعية.

طي موضوع القضبان المتصالبة(*)

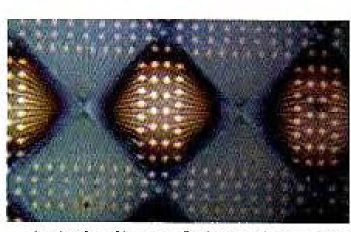
بدأت رحلة فريقنا في هذا المنحى من البحث عام 1995، عندما انتقل أحدنا (ويليامز) من قسم الكيمياء بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس إلى مختبرات HP. ومع أنه ليس خبيرا بالحواسيب، فقد كان مُلِمًّا ببعض مفاهيم الإلكترونيات، ومنها أن دارات الحاسوب يجب أن تكون متكاملة لتقوم بعملها بشكل صحيح: ومنها أن التقلُّبات العشوائية للذرات في درجة حرارة الغرفة وما فوق ذلك (بسبب **الأنتروبية** entropy(1)) قد تجعل من المتعذَّر بناء آلة متكاملة من بلايين المكونات التي يتألَّف كلٌّ منها من بضع ذرات فقط. ويذكر أن الاضطرابات ـ حتى تلك الذرية الحجم ـ تفرض درجات تفاوت لا يُستهانُ بها على حجم **التجهيزات النانوية** nanodevices، مما قد يُلحق الأذى بخصائصها الكهربائية ويترتب على ذلك تعطل جزء مهم من هذه الأجهزة الدقيقة. وكان من الطبيعي لـ«ويليامز» أن يستنتج أن تقنية **الإلكترونيات النانوية** nanoelectronics متعذرة التطبيق، وأن أبحاثه في مختبرات HP يجب أن تركِّز على تقنيات أخرى.

وفي عام 1996، اتفق أن التقى «ويليامز» مهندسا حاسوبيا (هو

(*) (Criss) crossing Over

(1) أو ظاهرة القصور الحراري.

كويكس) يعمل في مختبرات HP، وكان من شأن ذلك اللقاء أن يقلب الرؤية السابقة رأسا على عقب، وأن يضع الرجلين على عتبة جديدة غير متوقعة؛ فقد أخبر <كويكس> زميله <ويليامز> عن حاسوب عملاق يسمى **تيراماك** Teramac كان قد قام ببنائه هو وآخرون (من بينهم سنايدر). كان الحاسوب تيراماك يعمل بصورة جيدة تماما، مع أن 000 220 قطعة من مكوناته (أي ما يقارب 3% من مجموع المكونات) كانت تعاني خللا. وقد ذكر <كويكس> أن المشكلة في تصميم الحاسوب العملاق تتمثل في وجود مكونات كثيرة زائدة في دارات التوصيل الداخلي، وبعد تعيين مواقع الخلل وتصنيفها، جرى تصريف البرامج على الحاسوب، بحيث تبقى بمنأى عن الأجزاء المعطلة، وذلك عن طريق الحيود عن مواضع الخلل وتجاوزها باستعمال توصيلات إضافية.


ذواكر قضبان متصالبة مع وسائد اختبارها.

إن التقلبات العشوائية للذرات قد تجعل من المتعذر بناء آلة متكاملة من مكوِّنات نانوية.

ولاحظ <ويليامز> على الفور أن قدرة الحاسوب تيراماك على احتمال الخلل قد أفسحت المجال لبناء حواسيب تعمل بدقة تامة على الرغم من تعطل عدد كبير من الأجزاء النانوية الدقة. وفي ذلك الصيف، عملَ <ويليامز> مع الكيميائي الزائر <R .J. هيث> [من جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس] على تطبيق مفاهيم تجميع الجسيمات النانوية (تجميع بنى معقدة من وحدات بناء دقيقة جدا) على الحواسيب. وبعد مناقشات مطوَّلة مع <كويكس> و<سنايدر> تتعلق باحتمال الخلل الذي تبديه الأنظمة الحاسوبية المجمَّعة كيميائيا، خرج <ويليامز> و<هيث> بمقالة عن الموضوع كتدريب تعليمي. وكم كانت المفاجأة كبيرة لجميع المعنيين بالموضوع عندما أُخِذَ البحثُ على محمل الجد، ثم نُشِرَ في مجلة *Science* عام 1998.

المطلوب نتائج سريعة(*)

وفي تلك السنة بالذات، لاحظ كُلٌّ من <E .B. نيد> و <L .W. وارن> [مديرَيْ برامج في وكالة مشروعات أبحاث الدفاع المتقدمة Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)] ضرورةَ وجود بنيان فاعل لتطوير التقانات الجديدة للتجهيزات النانوية التي تدعمها الوكالة. وكان الاهتمام بمبحث الإلكترونيات الجزيئية حينذاك يشهد انبعاثا، بعد سنوات من انطلاقه أول مرة في عام 1974، على يد <A. أفرام> [من الشركة IBM] و <A .M. راتنر> [من جامعة نورث ويسترن]. ولكن الصورة لم تتضح إلا في مطلع التسعينات من القرن الماضي، عندما بدأ <A .M. ريد> [من جامعة ييل] و <M .J. تور> [من جامعة رايس] فعليا بقياس الخصائص الكهربائية، وتركيب جزيئات جديدة للإلكترونيات. وقد أدرك <نيد> و <وارن> أن التجهيزات الإلكترونية من دون بنيان يربطها بدارة فعالة ليست إلا من قبيل الفضول الفكري. وكانت خطوتهما الجريئة المتحدية لأوساط البحث والرامية إلى تحديد بنيان فاعل للتجهيزات الجزيئية بمنزلة انطلاقة واثقة لأبحاث تالية قامت بها مجموعات عديدة، وتأليف مجموعات بحث تعاونية مهمة.

وسرعان ما قَبِلَ فريقُ عملنا (بأعضائه من مختبرات HP وجامعة كاليفورنيا) ذلك التحدي. ولكننا كنَّا أمام مشكلة عويصة: فالبنيان المستوحى من الحاسوب تيراماك، الذي كنا قد اقترحناه يحتاج تطويره إلى خمس سنوات، في حين أصرَّت الوكالة DARPA على معاينة نتائج ملموسة (مثل تجهيزة ذاكرة بسعة 16 بتة) في غضون سنتين فقط. وراح الزملاء الثلاثة (<هيث> و<كويكس> و<ويليامز>) يتشاورون لأسابيعَ تلت، إلى أن خرجوا بمفهوم يمكن معه التقيُّد بالموعد المحدَّد. كان <كويكس> و<ويليامز> على علم بمشروع مختبرات HP المتمثل **بالذاكرة المغنطيسية العشوائية النفاذ** magnetic random access memory project، وبأن البنية البسيطة للقضبان المتصالبة التي قام المشروعُ على أساسها هي التصوُّرُ النظري الأخير لجملة مكوِّنات الحاسوب تيراماك.

وأشار <هيث> إلى أن القضبان المتصالبة تبدو كالبلورات، ومن ثم فلا بدَّ أن يكون بالإمكان بناء مثل هذه المنظومة كيميائيا. وكانت ثمة حاجة إلى إيجاد طريقة لربط كل زوج من الأسلاك المتقاطعة في القضيب بمفتاح كهربائي يُفتَح ويُغلَق حسب الرغبة. واقترح <ويليامز> أن وجود مادة فعالة كهركيميائيا تُدسُّ بين الأسلاك لا بدَّ أنه يوفِّر إمكان تغيير المقاومة الكهربائية لنقاط التماسّ بدرجة كبيرة وعكوس، وذلك بإمرار تيار كهربائي مناسب عبر السلكين النانويين، بحيث ينغلق المفتاح الكهربائي بتقليص كمية الجهد الكهركيميائي في الفجوة «النفقية» الميكانيكية-الكمومية التي يتعيَّن على الإلكترونات عبورها للانتقال من قطب كهربائي إلى قطب آخر. وبتطبيق جهد كهربائي معاكس بغية توسيع الفجوة النفقية ورفع شدة المقاومة الكهربائية يُعادُ تشغيل المفتاح الكهربائي من جديد.

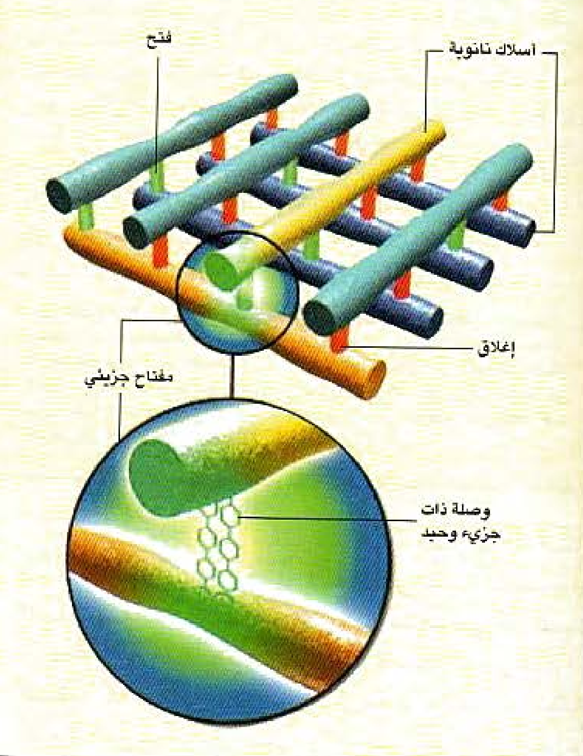
لقد زودنا <هيث> بالمادة التي نحتاج إليها، وأطلع فريقنا على كينونات جزيئية من تصميم <F .J. ستودارت> [العضو الجديد في جامعة كاليفورنيا حينذاك] لاستعمالها كمفاتيح ميكانيكية يجري

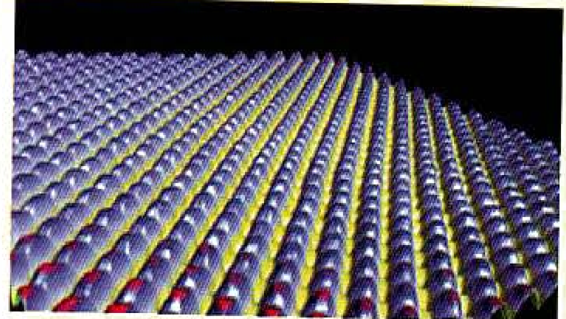
(*) Rapid Results Required

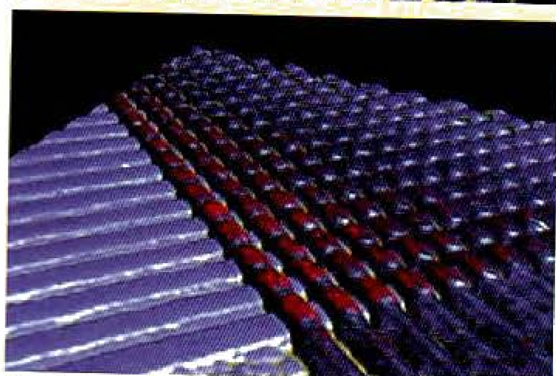
الوصل والفصل عند مفترق الطرق(*)

إن المكوِّن الرئيس في بنيان القضبان المتصالبة هو مفتاح نانوي يمكن فتحه أو إغلاقه بإمرار جهد كهربائي ملائم في الأسلاك المتصلة به.

وفي نموذج مختبرات هيوليت ـ پاكارد HP يؤلِّف المفتاح عند نقطة التقاء سلكَيْن نانويَّيْن متقاطعين جرى فصلهما بشريحة أحادية وحيدة من الجزيئات. يبدأ المفتاح بمقاومة عالية، ويحجز تدفق الإلكترونات بين سلكيه الدقيقين («إغلاق» ـ *المواضع الحمراء في الشكل أدناه*). أما عند إمرار جهدٍ كافٍ لقطبية كهربائية polarity ملائمة (*الأسلاك الصفراء والبرتقالية*) عبر السلك فيتغيَّرُ وضعُ المفتاح فجأة إلى حالة مقاومة أخفض بكثير، متيحا للإلكترونات التدفق بسهولة أكبر («فتح» ـ *المواضع الخضراء في الشكل*). يبقى المفتاح في حالة المقاومة المنخفضة إلى حين مرور جهد كهربائي سلبي كافٍ يجعله يعود إلى حالته الأصلية. يبقى المفتاح في وضعيةٍ آخر ضبطٍ له مادام الجهدُ الكهربائي مراوحا بين هاتين العتبتَيْن الإيجابية والسلبية. وبالفعل فإن المفاتيح التي اختبرها أصحاب هذا المقال حافظت على الوضعيات التي ضُبِطَتْ عليها منذ أكثر من ثلاث سنوات حتى الآن. وإذا أُتيحَ للمفاتيح أن تحرِّك مفصليا إلى الوراء والأمام عدة مرات، عندئذٍ يمكن إعادة تشكيل بنيتها واستخدامها في ذاكرة نفاذ عشوائي، أو في دارة منطقية قابلة لإعادة البرمجة reprogrammable.







نموذج أولي لتجهيزة حاسوبية من قضبان متصالبة، جرى تصويرها باستعمال مخطاط مجهري (*الصورة العليا*)، وهي مؤلَّفة من 34 سلكا نانويا (عرض كل منها 30 نانومتر) تتقاطع مع 34 سلكا آخر. وتبين التفاصيل (*الصورة السفلى*) كيف تتصالب المجموعة الأولى من الأسلاك النانوية مع المجموعة الأخرى. يُذكر أن نقطة اتصال سلكين نانويين هي أصغر من حجم فيروس مألوف.

تفعيلها كهركيميائيا. وتتلخَّصُ الفكرة في أن أي شيء يمكنه تغيير شكله عند انتقاله بين سلكين لا بُدَّ أيضا أن يؤثر في قدرة الإلكترونات على العبور من سلك إلى آخر. وتمثلت الخطوة الحاسمة في إقناع «ستودارت» (الذي كان في شغل شاغل) بتعديل جزيئاته ـ التي سماها **روتاكسانات** rotaxanes ـ كيميائيا لجعلها زيتية القوام. وتمكن «هيث» نتيجة لهذا التعديل من أن يضع نقطة صغيرة من هذه الجزيئات على سطح مائي، مما يؤدي إلى انتشارها وتكوين غشاء بسمك جزيء واحد، ينتقل على طبقة سفلية تكوَّنت عليها مجموعة الأسلاك السفلى (في عملية تُسَمَّى **تقنية لانكميور ـ بلودجيت** Langmuir-Blodgett technique). وبعد ذلك قمنا بترسيب مجموعة الأسلاك العليا عن طريق تبخير المعدن من خلال **قناع** mask، وبذلك تمَّت الدارة. وقد أفضت هذه التجارب المبكِّرة إلى تطبيقات عديدة لبراءات اختراع أمريكية، واقتراح للوكالة DARPA، إضافة إلى نشر بحثٍ آخر في مجلة *Science*.

تحقيق نتائج(**)

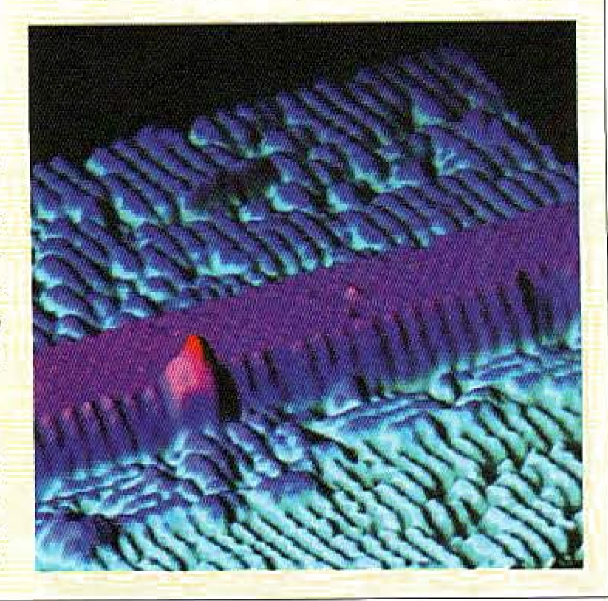
على الرغم من التشكيك الواضح في نتائج أبحاثنا في الأوساط العلمية، فإن فكرتنا عن القضبان المتصالبة والمفتاح الكهركيميائي لقيت قبولا لدى الوكالة DARPA لفترة تجريبية مدتها عامان، إضافة إلى قبولها أفكارا أخرى. ومنذ المراحل الأولى للمشروع برهنت مجموعات «هيث» و«ستودارت» على أن وجود جزيئات الروتاكسان

(*) On And Off At The Crossroads

(**) Making the Cut

هل نبني من الأعلى إلى الأسفل أم من الأسفل إلى الأعلى؟(*)

يشهد ميدان التصنيع النانوي نشاطا كبيرا في الوقت الحاضر، إلى جانب تقنيات حوسبة عديدة متنافسة قيد الدراسة والبحث. ويمكن تصنيف طرائق التصنيع المتبعة في فئتين: طريقة البناء من القمة إلى القاعدة، وطريقة البدء من القاعدة باتجاه القمة (*الصورة أدناه*). والأمثلة السابقة تشبه طرائق تصنيع الدارات المتكاملة التقليدية، التي تستخدم أسلوب **الطباعة الحجرية الضوئية** photolithography، يتبعه عملية **الحفر الكيميائي** chemical etching أو **ترسيب المواد** deposition of materials للحصول على الخصائص المطلوبة.



عيوب ذرية تظهر في هذه الصورة المجهرية النفقية الماسحة لسلك نانوي مصنوع من سليسيدات الإربيوم التي تكوّنت على سطح سيليكوني باستعمال طريقة كيميائية (*من الأسفل إلى الأعلى*). إن النتوءات التي تبدو على سطح السلك ـ والتي يناهز عرضها 3 نانومترات (أو 10 ذرات) ـ هي ذرات أحادية، في حين يمثل الانتفاخ على جانب السلك النانوي خللا في الموضع الذي يتغيّر فيه العرضُ من 10 ذرات إلى 9 فقط.

وتقوم هذه الطرائق الأخيرة على عمليات كيميائية أو كيميائية حيوية تتجمع بموجبها الذرات أو الجزيئات ذاتيا، آخذة الشكلَ المرغوب بفضل خصائصها الذاتية والمدروسة. ويتفق معظم الباحثين في هذا الميدان على ضرورة دمج هاتين الطريقتين بشكل ما، وصولا إلى بناء الدارات الجزيئية المستقبلية.

ويتّبع فريقنا في مختبرات HP أسلوبَ **الختم بالطباعة** imprint lithography لإنشاء القضبان المتصالبة، ونحن نستعمل أسلوب **الطباعة الحجرية بالحزم الإلكترونية** electron beam lithography لإنشاء قوالب للدارات. ومع أن هذه العملية بطيئة ومكلفة، فإنها تمكننا من صنع نسخ طبق الأصل عن المنتج النهائي، تستعمل فيما بعد لنسخ أعداد كبيرة من الدارات بصورة مشابهة لنسخ أسطوانات التسجيل. وتتلخص العمليةُ في طلي أرضية سفلى بطبقة رقيقة من پوليمير (متماثر) أو من مادة تولّده، ثم يُضغطُ القالبُ في هذه الطبقة الليّنة. يتصلّب هذا النموذج بتعريضه للحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية. وتمتازُ هذه الطريقة بأن الطباعة الحجرية بالحزم الإلكترونية قد تُنتِجُ أسلاكا ذات أشكال هندسية عشوائية على القالب. لكن يُؤخَذُ عليها أن درجة **الميْز** resolution الحالية لخصائص مجموعة من الأسلاك المتوازية محدودة **بنصف رتوة** half-pitch (أي نصف المسافة بين مركزي سلكين: واحدةُ قياس معيارية في الصناعة) بطول 30 نانومتر. مع أننا نسعى حاليا إلى إدخال تحسينات على عدد من التقنيات لرفع مستوى هذا الأداء.

بين الأقطاب الكهربائية يمكنه بالتأكيد أن يؤلف مفتاحا للتحكم في حالتي المقاومة العالية والمنخفضة. ومنذ ذلك الحين لاحظت مجموعتنا كما لاحظت مجموعات الأبحاث الأخرى، مثل مجموعة <Ch. ليبير> [في جامعة هارڤارد] ومجموعات <ريد> و<تور>، وجود طيف واسع من آليات مفاتيح نانوية. ويذكر أن تنوُّع الآراء والأساليب بشأنها قد ولّدَ بعض الإرباك في أوساط الأبحاث عموما، وهكذا بقيت ظاهرة تعدُّد المفاتيح غير محسومة. إلاّ أنّ وجود المفاتيح الكهربائية بات أمرا متعارفا اليوم على نطاقٍ واسع، علما بأن العشرات من مجموعات الأبحاث في شتى أنحاء العالم تَعكِفُ حاليا على تطوير مفاتيح كهربائية نانوية عالية المتانة [*انظر الإطار في الصفحة 71*].

وباستخدام بنية القضبان المتصالبة أصبح زملاؤنا في جامعة كاليفورنيا أولَ مجموعة أبحاث تعرض ذاكرة بسعة 16 بتة، تعمل بنجاح في إطار برنامج الوكالة DARPA لعام 2000. وقد شجّعَ نجاحُهم الوكالةَ على تمويل برنامج آخر أكثر طموحا، إذ يهدف إلى تصنيع ذاكرة بسعة 16 كيلوبتة، بكثافة 100 بليون بتة في السنتيمتر المربع. وهذا الهدف جعلَ من تصنيع القضيب أمرا بعيد المنال، لأنه يحتاج إلى إمكانات تصنيع لا يتوقع توافرها في صناعة أشباه الموصلات (النواقل) قبل عام 2018.

هذا في حين تواصل مجموعتنا في مختبرات HP ابتكار أنماط جديدة من الدارات المعتمدة على تقنية القضبان المتصالبة، ولاسيما **الذواكر التي تتغاضى عن الخلل** defect-tolerant memories ومجموعات مختلفة من الدارات المنطقية. كذلك قام <A. دي يون> [من معهد كاليفورنيا للتقانة] بالتعاون مع مجموعة <ليبير> والباحث <K.K. ليخاريف> [من جامعة ستوني بروك]، بإدخال تعديلات مهمة على المفهوم الأصلي لبُنيان القضبان المتصالبة. ومع أن بنيان القضبان المتصالبة والمفاتيح قد بدأ كظاهرة يكتنفها الغموض في إطار مشروع DARPA الجريء، فقد اعتُمِدَ حاليا على نطاقٍ واسع بعد إدخال تعديلات كثيرة عليه أجرتها مجموعاتُ بحث من مختلف أنحاء العالم، مثل مجموعة ماساكازو أونو التابعة للمعهد الوطني لعلم المواد في اليابان ومجموعة راينر ويزر التابعة لمركز الأبحاث جوليش في ألمانيا.

ولكي نفهم طريقة عمل القضبان المتصالبة، لا بد من مناقشة طبيعة بنية مفتاح التشغيل والقضبان، وطريقة صنع هذه القضبان من أسلاك نانوية [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]، وإمكانية بناء دارات جزيئية موثوقة، انطلاقا من مكونات تتصف بعدم الوثوقية.

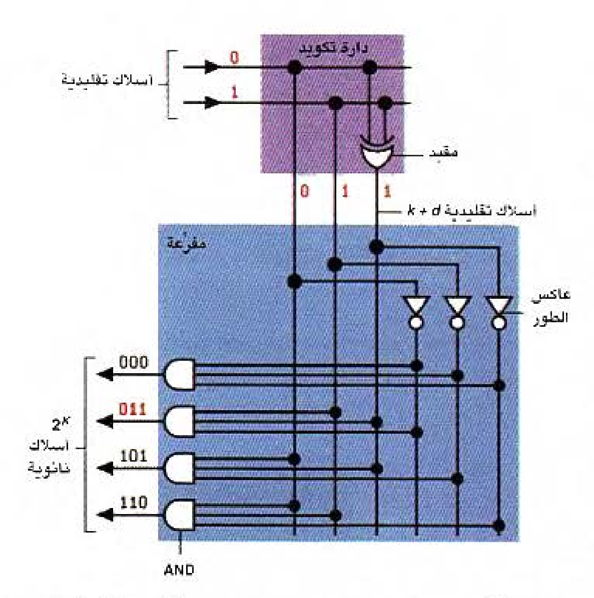
(*) Build Top-Down Or Bottom-Up?

من الميكروي إلى النانوي وبالعكس(*)

تقتضي فلسفة تقنية القضبان المتصالبة أن نتعايش مع عيوبها التي هي جزء منها، وأن نحاول العمل ضمن بيئة هذه العيوب. إن استراتيجية «**أوجِدْ وتجنَّبْ**» find and avoid الخاصة بالحاسوب تيراماك، المشار إليها سابقا، تكون ناجحة مادام بالإمكان التواصل مع الأسلاك النانوية. وهذا يطرح سؤالا آخر: كيف يمكن تخطِّي فجوة التباين في قياسات الأسلاك وعددها بين الإلكترونيات النانوية والدارات المتكاملة السيليكونية اللازمة للتحكم في القضبان المتصالبة؟ فلو كان بالإمكان توصيل الأسلاك واحدا لواحد (أي وصل سلك من الدارة المتكاملة مع سلك من جزيء القضبان المتصالبة)، لما وفرت القضبان المتصالبة النانوية أية ميزة جوهرية. ولكن بالإمكان حل هذه المشكلة بإجراء التوصيلات الكهربائية عبر **مفرِّعة** demultiplexer، وهي دارة ثانوية تتَّخذ عددا اثنانيا (كالعدد 1010) دخلا لها وتختار سلكا نانويا وحيدا يحمل تلك السلسلة الاثنانية بوصفها **معيِّنا** identifier فريدا [انظر *الشكل في هذه الصفحة*]. وفي حالتنا، تعدُّ المفرِّعة نموذجا خاصا من القضبان المتصالبة يوصل فيه عدد كبير من الأسلاك النانوية بعدد صغير من الأسلاك التقليدية.

إن عدد الأسلاك اللازمة لإدخال عنوان اثناني واحد يساوي طول الأسماء الرقمية، إلا أن كمية الأسلاك النانوية التي يمكن عنونتها مساوية لعدد العناوين الفريدة. على سبيل المثال، تستطيع سلسلة رقمية بطول 4 بتات (0000، 0001، 0010... الخ) أن تحدِّد 16 عنوانا مختلفا. وهكذا، فإن أربعة أسلاك ميكرونية القياس يمكنها التحكم في 16 سلكا نانويا. وهذه الحقيقة مهمة، لأنه إذا أُريدَ أن يكون بناءُ الدارات النانوية مجديا، فذلك يستتبع أن يكون المرءُ قادرا على التحكم في كثير من الدارات بالاستعانة بقليل من الإلكترونيات التقليدية. وبوجه عام، إذا كان k عدد الأسلاك التقليدية التي تغذِّي المفرِّعة، فإن بإمكانه التحكم فيما يعادل 2^k من الأسلاك النانوية، وهو مقدار أُسِّي ملائم جدا.

ولكن مشكلة كبيرة قد تقع في حال تعطل إحدى الوصلات بين سلك نانوي في المفرِّعة وسلك تقليدي، إذ يتعذر عندئذ التمييز بين الأسلاك النانوية المختلفة k، التي تشارك تلك **البتة** bit المعطوبة في عنوانه. (فمثلا، إذا كانت البتة الأخيرة في السلسلة معطوبة، بدا العددان 0000 و 0001 متطابقين، وكذلك العددان 1110 و 1111 وسائر الأزواج الأخرى). ومن ثم، فإن أي خطأ في التوصيل داخل المفرِّعة يؤدي إلى فقدان جميع الدارات النانوية ذات الصلة بالأسلاك النانوية k، وهذا إخفاق خطير. ويبدو أن هذه النتيجة تستلزم أن تكون المفرِّعات - التي تؤلِّف نصف عدد الدارات النانوية - مثالية، وهذا مخالف لمبدئنا من أن الإلكترونيات النانوية عُرْضَة للخلل.



تتيح المفرِّعةُ للأسلاك المعهودة في الشيبات السيليكونية التحكمَ في أعدادٍ كبيرة من الأسلاك النانوية. فإذا كان k هو عدد الأسلاك التقليدية، تمكَّنت المفرِّعة من التحكُّم في أسلاك نانوية عددها 2^k. وإن وجود كمية إضافية d من الأسلاك التقليدية يوفر عناصر إضافية داعمة للتحكم تحملها على الاستمرار في العمل، على الرغم من وجود توصيلات معطَّلة بين الأسلاك النانوية والأسلاك التقليدية. وفي هذا المخطط المبسَّط لدينا $k = 2$ و $d = 1$؛ وسلكان ميكرونيان يتحكمان في أربعة أسلاك نانوية، إضافة إلى بتَّة واحدة زائدة. في هذا المثال يوفر السلكان التقليديان دخلا لعنوان المفتاح 01 (*اللون الأحمر*)، فتضيفُ دارةُ التكويد(1) بتَّة إضافية وتعطي العنوان المكوَّد 011. يقوم العنوان المكود بتفعيل السلك النانوي في المفرِّعة، الذي يحمل الكود 011.

على أننا نجد حلاً لهذه المشكلة في ميدان **نظرية التكويد** coding theory، التي يطبقها المهندسون عند بث معلومات رقمية عبر بيئات ضجيج (كما يحصل في اتصالات الأقمار المدارية الطوَّافة). والفكرة العامة هي تقطيع الرسالة إلى كتل صغيرة من البيانات الاثنانية المؤلفة من سلاسل من الأصفار 0s والواحدات 1s. ثم تُوَسَّعُ كُلُّ كتلة بإضافة المزيد من البتَّات بهدف إنشاء كتلة أكبر هي **الكود (الرماز)** code. تُحسب هذه البتات الإضافية وفقا لعبارة جبرية باستخدام البتات في كتلة الرسالة الأصلية كمدخلات لعمليات الحساب. وعند إرسال هذه الرسالة الكبيرة (الكتلة الموسعة) عبر الهواء أو عن طريق بيئة ضجيج أخرى قد تنتقل بعضُ البتَّات في الرسالة المكودة مشوَّشة أو مقلوبة (كأن تتحوَّل بعضُ الواحدات إلى أصفار والعكس بالعكس). ومع ذلك يمكن استعادة الرسالة الأصلية بصورتها الصحيحة تماما بإعمال الكود نحو الخلف عند الطرف المستقبل (ما لم يكن عدد البتَّات المقلوبة مستغرقا الكود كلَّه).

وبتوجيه من <G. سيروسي> و <R. روث> و <W. روبنت> [من مختبرات HP] قام فريقنا بتطبيق هذه الفكرة لحماية أسلاكنا النانوية من التوصيلات المعطلة في المفرِّعة. وبدلا من ترقيم الأسلاك النانوية على التوالي، نستعمل حَيِّزَ عنوانٍ موسَّعا يكون

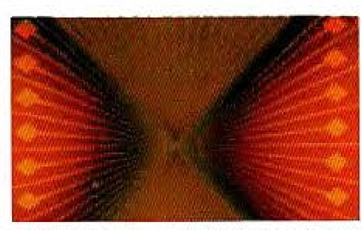
(*) From Micro to Nano and Back
(1) encoding

فيه عددُ الأسلاك الداخلة إلى المفرِّعة أكبر من العدد الأدنى اللازم لتحديد كل سلك نانوي تحديدا متميزا (وذلك بوساطة أسلاك إضافية عددها d). وفي هذه الحالة، يظهر أن كلَّ سلك نانوي قد يكون عرضة لعدة توصيلات غير سليمة مع الأسلاك التقليدية. ومع ذلك، فإن بإمكان المفرِّعة «عَنْوَنَة» جميع الأسلاك النانوية بنجاح. هذا ويعتمد عدد الدارات الزائدة اللازمة على درجة احتمال الأعطال في التوصيلات: وإنَّ مقدارا صغيرا من الزوائد (نحو 40%) يمكن أن يحسِّن حصيلة التصنيع الفاعل للمفرِّعة من 0.0001 إلى 0.9999 بافتراض أن معدل الأعطال في التوصيلات ضمن المفرِّعة هو 0.01.

تخطَّت 100، مما يجعل قراءة البتات سهلة جدا.

وعندما أصبح هدف الذاكرة النانوية قاب قوسين من الإنجاز (وباعتبار أن الوكالة DARPA تتطلَّب نصف رتوة بطول 16 نانومتر) كانت العقبة الكأداء التالية التي واجهتنا تتمثل في إنجاز حوسبة شاملة باستعمال دارات منطقية نانوية. فقمنا بالتعاون مع <D.R. ستيوارت> [من مختبرات HP] بتأليف قضبان متصالبة قادرة على تنفيذ منطق بسيط (أي تنفيذ عمليات AND و OR بوليانية)[2]، وذلك بوضع قيم مقاومة المفاتيح في جزيء قضيب متصالب. على أن مجال العمليات المنطقية التي يمكن تنفيذها يكون محدودا من دون عملية NOT أو عملية عكس

وهكذا تمكَّنا من استنباط دالَّتي[3] استرجاع الإشارة وعكسها من دون استعمال الترانزستورات في دارة قضبان متصالبة.



أسلاك خرج من القضيب المتصالب إلى وسائد الاختبار.

تصنيع الذواكر(*)

ومنذ ظهور أول تجهيزة ذاكرة بسعة 16 بتّة، عرضَ فريق <هيث> وفريقنا من مختبرات HP عام 2002 ذواكر بسعة 64 بتّة، عند **أنصاف رتْوات** half-pitch[1] بطول 62 نانومترا. كما عرضَ الفريقان في عام 2004 نموذجا للقضبان المتصالبة سعة كيلوبتة واحدة عند نصف الرتوة 30 نانومتر، متبعين أساليب مختلفة في استعمال الأسلاك والمفاتيح (على سبيل المقارنة يذكر أن نصف الرتوة في أحدث الدارات المتكاملة المستخدمة في أشباه الموصلات عام 2005 هو 90 نانومتر). فقد جرى وصل كل سلك نانوي في ذواكر العرض هذه بموصِّل أحادي، وعبَّرنا عن البتة بـ1 (مقاومة منخفضة) أو 0 (مقاومة عالية)، وذلك بتمرير **جهد كهربائي انحيازي** bias voltage يتخطَّى الحدَّ اللازم، لتوصيل المفتاح المرغوب عبر سِلْكَيه مباشرة. وما دام الجهد الكهربائي اللازم لتسجيل 1 أو 0 قويا نسبيا، والتغير في الجهود الكهربائية المطبقة على وصلات أسلاك الدارة أقل من نصف الجهد الكهربائي اللازم لتشغيل المفتاح وإغلاقه، فإن هذا الإجراء يضمن أن يكون ما يُكتَب مقتصرا على البتّة المرغوبة حصرا في المصفوفة (وأن ليس ثمة بتَّات أخرى قد كُتبت أو حُذفت عَرَضا). وتُقْرأُ البتّة المخزَّنة في المفتاح بتطبيق جهد كهربائي أدنى بكثير عبر الأسلاك المتصالبة المختارة، وبقياس شدة المقاومة عند تلك الوصلة للمفتاح. وكانت هذه النتائج الأوليَّة مشجِّعَة - إذ لوحظ في الذاكرة ذات الـ 64 بتّة، المطورة في مختبرات HP أن نسبة المقاومة بين 1 (فتح) و 0 (إغلاق)

الإشارة التي تغير 1 إلى 0 وتغير 0 إلى 1. ثم إن **الدوالّ المنطقية السلكية** wired logic functions تتسبب - بالضرورة - في إيقاف مستويات الجهد الكهربائي: فإذا استعملت بإفراط في دارة تسلسلية، باتَ من المتعذر تمييز الواحدات من الأصفار، ومن ثم تعذُّرت الحوسبة.

تؤدي الترانزستورات الموجودة في الدارات المتكاملة السيليكونية عمليتي **استرجاع الإشارة** restoration **وعكسها** inversion كلتيهما. وقد حملت هذه الحقيقة مجموعتي <هيث> و<ليبر> على تصنيع ترانزستورات من أسلاك سيليكونية نانوية. وقمنا نحن و<دي يون> بوصف دارات منطقية ذات بنية «قرميدية وفسيفسائية» يمكن إنشاؤها باستخدام ترانزستورات وعناصر أخرى مصنعة على شكل قضيب متصالب. ولما كانت هذه الطريقة تستخدم تقانة الدارات المتكاملة الحالية، فإنها تخضع في نهاية المطاف إلى مواطن القصور المذكورة آنفا، بحيث لا تقدم أكثر مما يتيحه قانون مور. ونعمل حاليا على بحث طريقة بديلة واختبارها، وهي تنفيذ عمليتي عكس الإشارة واسترجاعها من دون استخدام الترانزستورات.

يبني فريقنا شكلا غير مألوف لدارة منطقية متوضعة في قضيب من القضبان المتصالبة، وذلك باستخدام مجموعات من المفاتيح وأسلاك العمليات المنطقية AND و OR. وفي هذه الحالة تنفذ المفاتيح عملية تثبيت عرضناها إلى عهد قريب مع <ستيوارت>. وحددنا مستوى الجهد الكهربائي اللازم لتشغيل المفتاح بـ 1 وإغلاقه بـ0. وهكذا فإن أي سلك موصول بدخل مفتاح ما سيضبط بالضرورة ذلك

(*) Making Memories

(1) نصف المسافة بين مركزَيْ سلكين متجاورين، وهي واحدة قياس معيارية في صناعة أشباه الموصلات

(2) boolean

(3) function أو تابع.

(التحرير)

مجموعات البحث العاملة في مجال بُنَى القضبان المتصالبة(*)

المفتاح	المؤسسة/المؤسسات	المجموعة/المجموعات
طبقة أحادية من الروتاكسان بين أسلاك من السيليكون والتيتانيوم.	كالتك/ جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس	J. R. Heath/ J. F. Stoddart
ترانزستورات ذات مفعول ميداني من أسلاك نانوية سيليكونية.	جامعة هارڤارد/كالتك	C. Lieber/ A. DeHon
موصل أيوني من كبريتيد الفضة (مفتاح ذري قوامه الفضة).	المعهد الوطني لعلم المواد، اليابان	M. Aono
حركة مختلّة في الأغشية الرقيقة الذاتية الاستقطاب.	مركز أبحاث جوليش، ألمانيا	R. Waser
ترانزستور جزيئي أحادي الإلكترون.	جامعة ستوني بروك	K. K. Likharev
أكسدة/ خفض أكسدة سلك نانوي معدني.	مختبرات هيوليت-پاكارد	Quantum Science Research

المفتاح على القيمة المنطقية الحالية لذلك السلك، وبذلك ينقل بتة واحدة من المعلومات من حالة «منطق» إلى حالة «ذاكرة».

وما إن تخزَّن تلك البتة على أنها حالة ذاكرة، يصبح بالإمكان استخدامها في عمليات منطقية أخرى، عن طريق وصل سلك الخرج من المفتاح إلى منبع جهد كهربائي (وهو في حالتنا سلك من مؤقتة ضبط العمليات). ويمكن استعمال هذا التوصيل الجديد لاسترجاع الجهد الكهربائي للحالة المنطقية إلى قيمته المطلوبة عند تخفيضه. وثمة أسلوب آخر يتمثل في تحويل الجهود الكهربائية التي تمثل كلاً من 1 و 0 إلى أسلاك الخرج، الأمر الذي يعكس الإشارة المنطقية. ومن شأن هذا التغيير أن يتيح العملية المنطقية NOT التي تكفي إضافتها إلى العمليات المنطقية AND أو OR لتنفيذ أيٍّ من الحسابات. وهكذا تمكنًا من استنباط دالَّتي استرجاع الإشارة وعكسها من دون استعمال الترانزستورات أو خصائصها في دارة منطقية من قضبان متصالبة.

ما بعد الدارات المتكاملة السيليكونية(**)

إن الطريق إلى الحوسبة الشاملة التي تتجاوز حدود دارات الترانزستور المتكاملة ما زالت غيرَ محقَّقة بعد. ومع ذلك فقد ظهر في السنوات الفائتة بنيان القضبان المتصالبة كمنافس حقيقي لنموذج حوسبة جديد، علما بأن ثمة الكثير مما يجب عمله أولا، ولاسيما في إطار ثلاثة مجالات بحث مختلفة يجب أن تتطور بسرعة وفي آن معا: البنيان وفيزياء التجهيزات والتصنيع النانوي. ولعلَّ في إقامة جسور تواصل مثمر بين هذه الميادين ما يمثّل في حدِّ ذاته تحديًا لا يقلُّ شأنا عن إيجاد حلول للقضايا التقنية المستعصية. ويتطلب النجاح وجود مجموعات عديدة من الباحثين ممَّن يتحلّون بروح التنافس والتعاون، من قبيل ما يتحلّى به المشاركون في مشروع الوكالة DARPA.

ولا بُدَّ أن تؤخذ مسألة احتمال العيوب كعنصر أساسي تجب مراعاته في أية استراتيجية مستقبلية تتناول الإلكترونيات النانوية. ويعدُّ بنيان القضبان المتصالبة مثاليا لتطبيق استراتيجيات تقوم على الكشف عن المكوِّنات الرديئة وتجنُّبها، وكذلك على نظرية التكويد للتعويض عن الأخطاء. ومن المحتمل أن تكون الدارات المستقبلية أكثر متانة وفاعلية من الإلكترونيات الحالية، مع أنها ستنطلق حاملة نسبة عالية من المكونات المعطوبة، علما بأن احتواءها على مكونات زائدة مضمَّنة جدير بأن يجعلها مقاومة لتأثير قوي (مثل التعرض للإشعاع) من شأنها أن تسبب أعطالا جسيمة في الدارات المعهودة، بينما تتسم هنا في جعل مستوى الأداء ينخفض تدريجيا.

إن الطبيعة الكمومية-الميكانيكية للمفاتيح الأنبوبية (النفقية) تلائم الدارات النانوية. واليوم، مع تقلُّص حجوم مثل هذه الأجهزة، باتت حركةُ الإلكترونات بداخلها أشبه بحركة أجسام كمومية-ميكانيكية. وفي حكم المؤكَّد أن هذه المفاتيح ستكون قادرة على تصغير حجمها أكثر فأكثر إلى أن تقارب أبعادَ ذرَّةٍ منفردة ـ وفي ذلك ما يشير إلى مدى ما قد تبلغه مستقبلا الداراتُ الإلكترونية من نمنمة. ■

(*) Group Researching Crossbar Architectures

(**) Beyond Silicon ICs

المؤلفون

Philip J. Kuekes - Gregory S. Snider - R. Stanley Williams

يعمل الباحثون الثلاثة على تطوير تقانات حاسوبية للجيل القادم في إطار برنامج البحث العلمي الكمومي QSR التابع لمختبرات هيوليت-پاكارد HP في پالو ألتو / كاليفورنيا. ابتكر **كويكس** *أفكارا جديدة في ميادين الحوسبة والدارات والتجهيزات الإلكترونية وأبحاث المعلومات الكمومية. وهو كبير مهندسي البرنامج QSR، إذ يقوم بتصميم وإنشاء* **حواسيب** *«الحافة المتقدمة» (أو «الجبهة الصاعدة») leading-edge computers منذ ما يزيد على ثلاثين عاما. ويشغل* **سنايدر** *حاليا منصب مستشار في مختبرات HP، ويعمل على استكشاف طرائق جديدة لتحسين التصميم البنياني للإلكترونيات النانوية، وقد عمل سابقا في تصميم الدارات المنطقية والمصرِّفات ونُظُم التشغيل والتركيب المنطقي ومعالجة الإشارات الرقمية، ونُظُم الأمن الحاسوبي والشبكات. أما* **ويليامز** *فهو زميل رفيع المستوى في مختبرات HP ومدير البرنامج QSR، إذ يرأس فريق عمل متعدد المجالات يقوم بتصميم وبناء دارات نانوية جديدة واختبارها؛ وقد ركَّز في الماضي على كيمياء وفيزياء الحالة الصلبة، ويعكُفُ حاليا على دراسة الموضوعات المشتركة بين العلوم النانوية وتقانة المعلومات.*

مراجع للاستزادة

Configurable Computing. John Villasenor and William H. Mangione-Smith in *Scientific American*, Vol. 276, No. 6, pages 66–71; June 1997.

A Defect-Tolerant Computer Architecture: Opportunities for Nanotechnology. J. R. Heath, P. J. Kuekes, G. S. Snider and R. S. Williams in *Science*, Vol. 280, pages 1716–1721; June 1998.

Computing with Molecules. Mark A. Reed and James M. Tour in *Scientific American*, Vol. 282, No. 6, pages 86–93; June 2000.

Feynman Lectures in Computation. Paperbound edition. Richard P. Feynman. Edited by Tony Hey and Robin W. Allen. Perseus Books Group, 2000.

The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) Web site is at http://public.itrs.net/

ذيفان مسكن للألم(*)

وعد العلماء على مدى أعوام طويلة بتطوير فئة جديدة من الأدوية مستمدة من الأحياء البحرية. وقد تمت الموافقة مؤخرا على تسويق دواء مسكن للألم هو عبارة عن نسخة اصطناعية من ذيفان الحلزون، وأصبح بذلك واحدا من أوائل الأدوية البحرية المنشأ.

<G. ستكس>

كانت السنوات الخمس عشرة الماضية من أفضل السنوات بالنسبة إلى المعالجين بالتنويم المغنطيسي ومعلمي اليوگا وممارسي الوخز بالإبر. فقد كانت الوعود بتسكين آلامهم عن طريق مختلف أشكال الطب البديل تبدو منطقية على ضوء سيل من التقارير السلبية الخاصة ببعض الأدوية، مثل Vioxx و Celebrex و Aleve، واعتراف الإذاعي الشهير <R. ليمبو> بإدمانه على المسكنات.

إلا أن المرضى الذين يفضلون استعمال الأدوية على التأمل لم يفقدوا الأمل، فقد وافقت «إدارة الأغذية والأدوية» الأمريكية في نهاية الشهر 12 على تسويق دوائين جديدين أُعِدا لمعالجة الآلام المعندة(1) على مضادات الالتهاب والأفيونيات Opiates وهما الصنفان الرئيسيان من الأدوية المسكنة للألم. وقد رحب الأطباء الاختصاصيون بهذه الأدوية. يقول <E. مالكسكي> [من جامعة «أوريگون» للصحة والعلوم] «لقد كنا مرتبكين لدى معالجة الألم بالأفيونيات والمركبات الشبيهة بالأسپيرين، فقد عرف الأفيون قبل ما يزيد على ألفي عام، أما الأسپيرين فقد عرف قبل ما يقرب من مئتي عام.»

كثيرا ما يعالج الألم المعند بأدوية أعدت في الأصل لمعالجة حالات أخرى. فقد أقرت «إدارة الأغذية والأدوية» الأمريكية (FDA) في 2005/12/31 استعمال الدواء Lyrica (pregabalin) الذي تصنعه شركة «فايزر» لمعالجة آلام الاعتلال العصبي الناجم عن الداء السكري والحلأ النطاقي(2). كما استعملت مضادات الاختلاج(3) أحيانا ومن بينها الدواء Lyrica لتخفيف الألم من دون الحصول على موافقة نظامية. وقد وافقت شركة فايزر في عام 2004 على دفع مبلغ 430 مليون دولار كغرامات جزائية ومدنية لأن فرعها Warner Lambert روّج لاستعمال أحد أدوية الصرع، نيورونتين Neurontin لمعالجة آلام الاعتلال العصبي، كما روج لغيرها من الاستعمالات قبل أن تحصل فايزر على الموافقة على هذه الاستعمالات عام 2000.

أما المسكّن الذي أقرته إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية في الشهر 2005)12) فلم يثر الضجة التي أثارها Lyrica. يتطلب هذا الدواء الذي يدعى پرايلت Prialt (Ziconotide) من صنع الشركة إيلان ELAN، غرس مضخة في الجسم أو استعمال مضخة خارجية لحقن الدواء بوساطة القثطرة في السائل الدماغي الشوكي، وهي تقنية مخصصة لإعطاء المورفين للمرضى الحرجين المصابين **بالإيدز** AIDS أو بالسرطان. قد لا يسبب «البرايلت» الدهشة في الحي التجاري بنيويورك، إلا أنه من منظور علماء الأعصاب وعلماء الأدوية أكثر أهمية إلى حد كبير من الدواء السابق. ويلاحظ <A. باسباوم> [أستاذ التشريح في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] «أنه بالإمكان القول إنه أول دواء مسكن للألم بدأ اختباره في الحيوان، ثم استعمل بعد ذلك عند المرضى، بخلاف الأدوية الأخرى التي استعملت في البدء عند الإنسان لغايات متعددة، ثم اختبرت بعد ذلك عند الحيوان للتثبت من فعلها المسكن للألم. ويضيف قائلا: «إن هذا برهان رئيسي على أن هناك صنفا جديدا من الأدوية يستحق الدراسة.»

إن الدواء «برايلت» هو نسخة اصطناعية (تركيبية) من ذيفان **الحلزون المخروطي** Conus Magnus، وهو حيوان رخوي يعيش في منطقة بين المحيطين الهادئ والهندي، ويعد البرايلت من أوائل الأدوية التي بيّنت أن الأحياء البحرية، ولا سيما اللافقاريات، تبعث الأمل لدى الباحثين بالكشف عن أدوية جديدة.

بدأت المسيرة التي أدت إلى «برايلت» في أوائل السبعينات عندما عاد <B. أوليڤرا> إلى موطنه في الفليپين وقام بإنشاء مختبر فيه، وذلك بعد أن أنهى بحثا بعد الدكتوراه في جامعة «ستانفورد». وقد ساعد <أوليڤيرا> في «ستانفورد» على عزل وتنقية **ليگاز الدنا** DNA Ligase وهو إنزيم يقوم بربط أجزاء

(*) A TOXIN AGAINST PAIN
(1) intractable pain (2) shingles (3) anticonvulsanto



حلزون مخروطي يحقن سمه في الفريسة مستخدما خرطومه proboscis المزود بإبرة معقوفة barpoon في نهايته. اخذت هذه الصور عند تقديم الطعام للحلزون في المختبر بجامعة «يوتا».

الدنا. وقد أراد متابعة أبحاثه عن هذا الإنزيم في الفليبين إلا أنه لم يتمكن من الحصول على التجهيزات اللازمة لذلك. وبصفته هاويا لجمع الأصداف كان يتساءل عما إذا كان **الحلزون المخروطي السام** cone snails يحتوي على جزيئات قادرة على إحصار القنوات العصبية والتي يمكن استخدامها من قبل الاختصائيين بالأعصاب كما يستخدمون ذيفان **الأسماك المنتفخة** Puffer fish أو ذيفان أفاعي تايوان. ويذكر «أوليفيرا» قائلا: «لقد بدأت العمل من دون أية رؤية واضحة،» ويضيف «لقد كنت أبحث بشكل خاص عن مشروع منتج للعمل عليه.»

في نهاية الأمر تمكن «أوليفيرا» من الحصول على وظيفة تعليمية في جامعة «يوتا»، واعتزم التخلي عن أبحاثه عن ذيفان الحلزون والعودة إلى أبحاثه السابقة عن الدنا. في عام 1978، أي بعد عدة سنوات من عودة «أوليفيرا» إلى أمريكا، أبدى «C. كلارك» [وهو طالب غير متخرج، عمره 19 عاما ويعمل في مختبره] اهتماما بذيفانات الحلزون. وأراد «كلارك» أن يعرف ماذا سيحدث إذا حقن بعض الببتيدات المئة التي يتألف منها سم الحلزون المخروطي القاتل المسمى geographus في دماغ الفأر مباشرة بدلا من حقنها في البطن. لم يكن «أوليفيرا» متفائلا من نتيجة هذه التجارب إلا أنه سمح لـ «كلارك» بالعمل. ولدهشة الجميع أحدثت هذه الببتيدات أشكالا متعددة من السلوك. فقد جعل أحد الببتيدات الفأر يغط في النوم في حين جعل ببتيد آخر الفأر يرتعد. وحرّض ببتيد آخر الحكة عند الفأر.

وقد تم تدريجيا تعرف العديد من أنواع الحلزون المخروطي وذيفاناتها المختلفة ـ هناك خمسمئة نوع من الحلزون المخروطي تُنتج على الأقل خمسين ألف نوع من الببتيدات (قارن هذا الرقم مع عشرة آلاف قلواني أمكن تمييزها في جميع أنواع النباتات) وقد دعا ذلك «أوليفيرا» إلى التخلي عن أبحاثه حول الدنا، وكرّس نفسه لمعرفة كيفية حدوث هذه التنوعات من التطور خلال فترة قصيرة من الزمن نسبيا تقدر بخمسين مليون سنة. وحاول في الوقت نفسه معرفة كيف تعمل قنوات الأيونات في الجملة العصبية، وكيف يمكن استعمال هذه الذيفانات في الدراسات العلمية العصبية وفي تطوير أدوية جديدة. ويقول «أوليفيرا» «إن الحلزونات هي صيادلة الأعصاب في الطبيعة.»

البحث عن السم(*)

أثارت الأبحاث التي نشرها فريق «أوليفيرا» اهتمام «G. ميليانش» [وهو إخصائي بالكيمياء الحيوية، يعمل في جامعة جنوب كاليفورنيا ويقوم بدراسة انتقال الإشارات العصبية عبر **المشابك** synapse، وهي نقاط الاتصال بين العصبونات]. كان

(*) In Search of Venom

‹ميليانتش› منهمكا في تمييز وتصنيف الأنماط المختلفة لقنوات الكالسيوم التي تنقل الإشارات الكيميائية إلى الخلايا في الجملة العصبية. حصل ‹ميليانتش› على منحة من المعهد الوطني للصحة كي يحاول تطوير ذيفانات الحلزون المخروطي، لاستعمالها كمسابر لتحديد وظيفة السبل الجزيئية المختلفة. وقد بذل ‹ميليانتش› جهدا كبيرا حتى حصل على قطرة واحدة فقط من السم الثمين عن طريق **احتلاب** milking الحلزون، ما جعل العرض الذي تلقاه لشغل وظيفة في شركة حديثة العهد للتقانة الحيوية مغريا. أنشأ هذه الشركة واسمها Neurex عام 1986 أستاذان من جامعة «ستانفورد» وكانت تهدف إلى الجمع بين التقانة الحيوية والعلوم العصبية، واستخدمت كيميائيين من الطراز الأول مختصين بالپپتيدات من جامعة كاليفورنيا (UCSF)، حيث عمل ‹ميليانتش› عندما كان طالبا بعد مرحلة الدكتوراه.

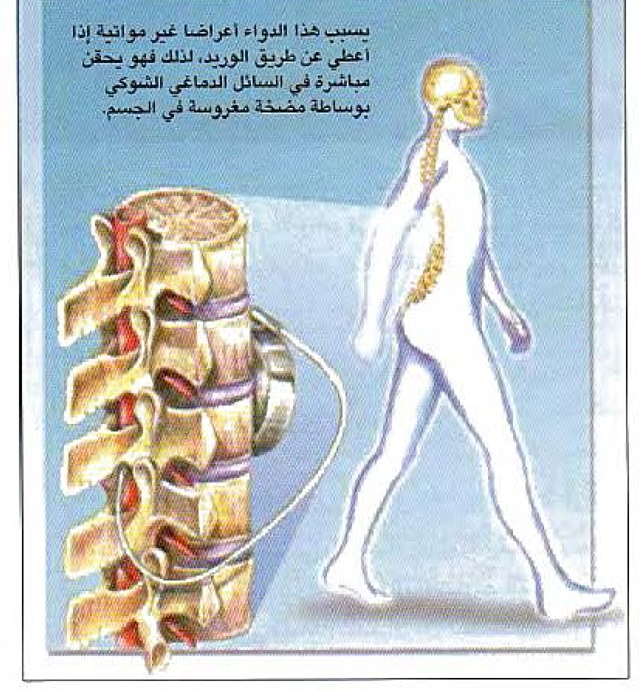
أقنع ‹ميليانتش› وزملاؤه [في قسم الأبحاث بشركة Neurex] القيام بمهمة صعبة تتمثل في **تخليق** synthesize الپپتيدات المخروطية ـ أوميگا Omega Conopeptide وهي ذيفانات تقوم بإحصار بعض قنوات الكالسيوم. تستجيب القنوات عادة للتبدل في **الڤلطية** voltage عبر الغشاء الخلوي بأن تسمح بتدفق أيونات الكالسيوم، مما يسهّل انتقال الإشارات الكيميائية عبر المشابك الواقعة بين الخلايا العصبية. تأتي بعض الپپتيدات المخروطية ـ أوميگا من الحلزون المسمى C.Magus وهي سامة للأسماك لكنها غير سامة للإنسان. في البدء كانت شركة Neurex متشككة في جدوى مشروع ‹ميليانتش› إلا أنها تخلت عن تحفظها عندما انتهى مشروعها السابق، الهادف إلى عزل پپتيدات مفيدة طبيا من أدمغة الأبقار، إلى الفشل. وخلال فترة قصيرة كانت نوركس قادرة على تصنيع الپپتيدات المخروطية أوميگا بالغرامات.

في ذلك الحين كان ‹ميليانتش› قد أعد قائمة بالاستعمالات الممكنة للأدوية التي يمكن تطورها من أحد الپپتيدات المخروطية المهمة التي عزلت لأول مرة في مختبر ‹أوليڤيرا›. لم يكن تسكين الألم بادئ الأمر على رأس القائمة، إلا أنه انتقل بسرعة إلى المقدمة. وقد بينت التجارب المختبرية أن **الذيفان المخروطي ـ أوميگا** Omega conotoxin الذي أطلق عليه اسم SNX-III (وسمي في وقت لاحق Ziconotide/ Prilat) قد يكون مفيدا في معالجة الصرع، إلا أن تجربته على الفئران كشفت فشله التام، لا بل إن إعطاءه في الواقع يثير الارتعاش. وقد كان الموضوع التالي الوارد في القائمة يتعلق باستعمال الذيفان وريديا لوقاية الخلايا الدماغية من الأذى الذي يلحق بها بسبب





تبين أن هذا السم (*الصورة إلى اليمين*) يحتوي على مادة تعرف باسم الپپتيد المخروطي أوميگا الذي يمكنه تخفيف الألم. وحاليا يصطنع الباحثون هذا الپپتيد لتحضير الدواء المسمى پرايلت Prialt الذي يعرف علميا باسم ziconotide.



يسبب هذا الدواء أعراضا غير مواتية إذا أعطي عن طريق الوريد، لذلك فهو يحقن مباشرة في السائل الدماغي الشوكي بوساطة مضخة مغروسة في الجسم.

(*) From Snail to Patient

تحضير الأدوية من ذيفانات الحلزون المخروطي(*)

اسم الشركة	اسم الدواء	مرحلة التجارب السريرية	العملية الجزيئية المستهدفة	نوع الحلزون المخروطي
Cognetix «سولت ليك سيتي»	CGX-1160، لمعالجة الألم المزمن.	المرحلة I لعلاج السرطان، المرحلة II لعلاج إصابات النخاع الشوكي	مستقبلات النورتنسين Neurotensin	geographus (أكل السمك).
Elan دبلن، أيرلندا	برايلت (Ziconotide).	مرخص في الولايات المتحدة وأوروبا.	قناة الكالسيوم الحساسة للفولتاج.	magus (أكل السمك).
الأدوية الاستقلابية (الأرضية) ملبورن، أستراليا	ACV-1، لمعالجة الألم العصبي وتسريع شفاء العصبونات المتأذية.	لم يصل بعد إلى مرحلة التجارب على البشر.	مستقبلات الأستيل كولين النيكوتينية.	victoriae (أكل الرخويات).
Xenome برسباين ـ أستراليا	XEN2174، لتخفيف الألم المزمن.	المرحلة I.	ناقل النور إبينفرين (يزيل الناقل العصبي نور إبينفرين من المشابك).	mormoreus (أكل الرخويات).
	TIA، لمعالجة فرط تنسج البروستاته (الموثة) الحميد ولمعالجة الآفات العصبية التنكسية والاضطرابات القلبية.	لم يدخل بعد مرحلة التجارب على البشر.	المستقبلات الأدرينالية ألفا-1.	tulipa (أكل السمك).

لقد صممت المرحلة I من التجارب السريرية لتقدير سلامة العقار ومدى تحمله وكذلك تأثيراته في الجسم؛ أما المرحلة II من التجارب فتتفحص فعالية العقار ومدى وقايته.

نقص الأكسجين أثناء السكتة الدماغية أو رضوض الرأس. وقد بدأت الشركة عام 1993 بالمرحلة الأولى من التجارب السريرية (الإكلينيكية) لاختبار قدرة الدواء على حماية الجملة العصبية من الأذى، إلا أن إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية (F.D.A) أوقفت هذه الدراسة مؤقتا عندما تبين أن الذيفان SNX-III يسبب هبوطا في الضغط الدموي.

لما يئست شركة «نوركس» من تبديد الأموال من دون جدوى بدأت بالاستعداد لإجراء تجربة سريرية على الذيفان SNX-III لتسكين الآلام الشديدة. فقد افترض علماء الشركة أن هذا المستحضر قد يفيد في تسكين الآلام لأن بعض المشاهدات بيّنت أن أحد السبل التي يعمل بها المورفين هو إغلاق أحد الأنماط النوعية من قنوات الكالسيوم (النمط N). وقد بينت الاختبارات الكهرفيزيولوجية electro physialogical والشعاعية الموسومة rudiolabel أن الذيفان SNX-III يرتبط بشكل انتقائي بالنمط N من قنوات الكالسيوم. إن التأثير الحاصر لهذا المستحضر يمنع القناة من الانفتاح ومن اندفاع أيونات الكالسيوم إلى داخل الخلية. تعجل أيونات الكالسيوم انتقال المنبهات عبر المشابك إلى النخاع الشوكي ومنه إلى الدماغ حيث تُدرك على شكل ألم. ويعلق «ميليانتش» على ذلك بالقول: «لقد كان ذلك الدليل الواضح الذي سمح لنا بالتحرك إلى الأمام. فقد بينت الاختبارات اللاحقة على الحيوان أن تأثيرات هذا المستحضر تتجلى بعد إعطائه بجرعة تقل ألف مرة عن جرعة المورفين من دون أن يسبب الإدمان addiction أو التحمل tolerance.

هدية الطبيعة(**)

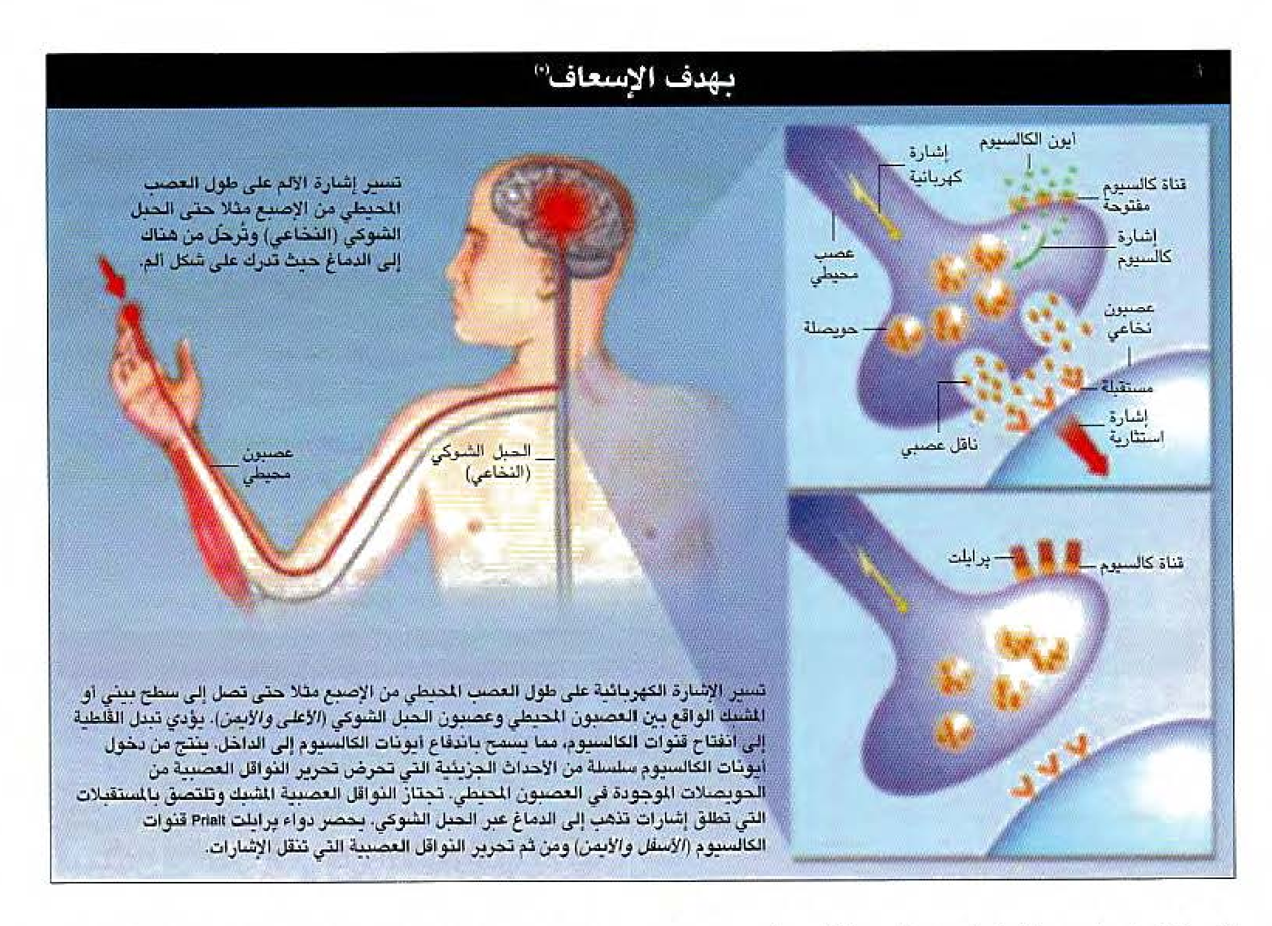
في عام 1995 بدأت شركة «نوركس» تجارب سريرية على الذيفان SNX-III عند المصابين بآلام وخيمة ولم يمكن تسكين آلامهم بإعطاء الأفيونيات داخل القراب (داخل الأم الجافية) والتي يتم إيصالها إلى السائل الدماغي الشوكي بوساطة مضخة مغروسة في الجسم. وقد حصرت إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية استعمال هذا المستحضر الصنعي بالأشخاص الذين وصلوا إلى المراحل الأخيرة من مرضهم بسبب تأثيراته الجانبية التي كشفت عنها التجارب السابقة، وكان يعطى للمرضى عن طريق المضخة المغروسة كما هي الحال في الأفيونيات. وبعد سنوات المحاولات باستخدام متواليات من الحموض الأمينية كان الدواء الذي أعطي للمرضى في كلتا التجربتين السريريتين عبارة عن نسخة اصطناعية (تركيبية) من الببتيد الموجود في الحلزون. ويعلق «ميليانتش» قائلا: «بعد اختبار مئات من المضاهئات عدنا إلى استخدام المستحضر الذي أعطتنا إياه الطبيعة.»

عندما بدأت التجارب السريرية لتسكين الآلام تبيّن بسرعة أن الجرعات المستخدمة كانت خاطئة. فقد ظهر عند بعض المرضى تأثيرات جانبية خطيرة أخذت شكلا من عدم التناسق إلى الإهلاسات السمعية والبصرية. وقد بينت التجارب اللاحقة أن الجرعات يجب أن تنقص وأن الزيادة المتدرجة في الجرعات يجب أن تتم في زمن أطول إلى حد كبير. وقد تراجعت التأثيرات الجانبية في بعض الحالات فقط. وقد أصيب أحد المرضى بالهذيان الذي لم يتوقف إلا بالمعالجة الكهربائية المضادة للاختلاج. وعندما وافقت إدارة الأغذية والأدوية

(*) Making Drugs From Cone Snail Toxins

(**) Nature's Gift

بهدف الإسعاف(*)



تسير الإشارة الكهربائية على طول العصب المحيطي من الإصبع مثلا حتى تصل إلى سطح بيني أو المشبك الواقع بين العصبون المحيطي وعصبون الحبل الشوكي *(الأعلى والأيمن)*. يؤدي تبدل القطبية إلى انفتاح قنوات الكالسيوم، مما يسمح باندفاع أيونات الكالسيوم إلى الداخل. ينتج من دخول أيونات الكالسيوم سلسلة من الأحداث الجزيئية التي تحرض تحرير النواقل العصبية من الحويصلات الموجودة في العصبون المحيطي. تجتاز النواقل العصبية المشبك وتلتصق بالمستقبلات التي تطلق إشارات تذهب إلى الدماغ عبر الحبل الشوكي. يحصر دواء برايلت Prialt قنوات الكالسيوم *(الأسفل والأيمن)* ومن ثم تحرير النواقل العصبية التي تنقل الإشارات.

الأمريكية على استعمال الدواء بينت أن من الواجب تكرار مراقبة المرضى بحثا عن الأعراض العصبية والنفسية.

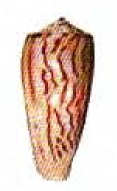
في عام 1998 قدمت شركة «إيلان» للأدوية عرضا لشراء شركة نوريكس التي وافقت بسرعة على ذلك العرض. وعلى الرغم من أن دراستين سريريتين تناولتا المرحلة الأخيرة من التجارب السريرية أظهرتا أن الذيفان SNX-III يخفف الألم بشكل واضح أكثر من الدواء الغفل، فإن المسؤولين عن شركة نوريكس كانوا يعلمون أن إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية ستطلب إليهم على الأرجح إجراء تجربة سريرية أخرى قبل السماح باستعماله وذلك بسبب ظهور تأثيرات جانبية لهذا الدواء. كما قامت شركة نوريكس بإجراء التجارب النهائية التي تناولت قدرة الدواء على وقاية الخلايا الدماغية من أثر الرضوض، إلا أنها وضعت نتائج هذه التجربة جانبا لأن الدراسات السابقة لم تكن مشجعة. ومع أن شركة نوريكس حصلت على ترخيص لتسويق دواء خافض للضغط الشرياني لا علاقة له بذيفان الحلزون، فإن موردها من هذا الدواء لم يكن كافيا للتغلب على صعوباتها المالية إلى أن حصلت في نهاية الأمر على الموافقة على دواءيها الرئيسيين.

اجتاز الذيفان SNX-III والذي يدعى حاليا «برايلت» Prialt بنجاح تجربة سريرية أخرى، وتجنب بذلك كارثة مالية نجمت عن ممارسات مالية مريبة في شركة «إيلان»، ومنها اشتراكها في عدد من المضاربات التجارية. تلقت «إيلان» بتاريخ 12/28 موافقة إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية على تسويق «برايلت» لاستعماله في معالجة الآلام العصبية الشديدة وغيرها من الآلام التي لا تستجيب للطرق الأخرى من العلاج. تمت الموافقة على «برايلت» بعد نحو ثماني سنوات من الموعد المتوقع لذلك. وإذا وصف الأطباء هذا الدواء لعشرين في المئة من نحو 55 ألف مريض يتلقون العلاج عن طريق قثطرة داخل القراب (الأم الجافية) فإنه سيوفر للشركة دخلا صافيا يزيد على 150 مليون دولار سنويا استنادا إلى أن تكلفة معالجة المريض سنويا تقدر بنحو 15 ألف دولار. يقول «ميليانتش»: «إن ذلك أمر مثير للغاية على الرغم من وجود تقلبات متتالية في مسيرة هذا الدواء كان هذا أحدها.» قد تكون هذه الأنباء أكثر مدعاة للسعادة بالنسبة إلى الأطباء الذين يعالجون المصابين بآلام مزمنة. ويقول <M. ليونك> [وهو طبيب أشرف على التجارب السريرية لهذا الدواء ويعمل أيضا مستشارا مأجورا لشركة إيلان] «لقد سكّن برايلت آلام المرضى حيث فشلت جميع الأدوية الأخرى.»

سيكون «برايلت» على الأرجح آخر مغامرة تقوم بها شركة «إيلان» في مجال ببتيدات الحلزون، إذ إن هذه الشركة لم تحافظ على قدراتها الموروثة من شركة نوريكس للقيام بأبحاث في مجال

(*) Targeted Relief

ذيفانات الحلزون المخروطي، ومع ذلك فإن الحلزونات المخروطية قد يكون لديها الكثير لتقدمه كونها كيميائيي الطبيعة. وقد نشر اثنان من **الأحيائيين (إخصائيي البيولوجيا)** biologist [من جامعة هارڤارد] مقالة في وقائع جلسات الأكاديمية الوطنية للعلوم الولايات المتحدة، يشير إلى أن نوعين من الحلزونات المخروطية تملك جينات للذيفان قد تكون الأسرع تطورا على الكرة الأرضية، وقد حصل ذلك الذيفانات صارت أشد صرامة على الرغم من أن بعض هذه السموم لا يؤذي الإنسان. يقول «أوليڤيرا»: «يراودنا الرعب باستمرار من انتهاك القواعد التي لا نعلم عنها شيئا.» ومع ذلك فإن الحذر له ما يبرره، إذ إن حجم الپپتيدات الصغير يجعلها سهلة التركيب (الاصطناع). مما كان يغري في بعض الأحيان صانعي الأسلحة البيولوجية. وقبل أن يصدر الرئيس «B. يلتسين» أوامره بإيقاف برنامج الأسلحة الحيوية



قد تكون الجينات المصنعة لذيفانات الحلزون المخروطي هي الأسرع تطورا في العالم، ويشكل تنوعها منجما ثمينا لصناعة الأدوية.

بغية التكيف مع الفرائس المتبدلة التي تعيش في سلسلة الصخور البحرية في المناطق الاستوائية.

تستعد بعض الشركات لاستثمار هذه الثروات. فقد أنشأ «أوليڤيرا» [مؤسس هذا الحقل العلمي] شركة Cognetix في «سولت ليك سيتي». كما أن شركتين أستراليتين للتقانة الحيوية وهما Xenome و Metabolic Pharmaceutical بدأتا بتطوير أو إجراء التجارب على أدوية أساسها ببتيدات الحلزون موجهة في الدرجة الأولى لمعالجة الألم المزمن. وإن الجهود المبذولة حاليا لتطوير أدوية تستخدم جزيئات عضوية صغيرة تعطى عن طريق الفم وموجهة إلى قنوات الكالسيوم أو غيرها من القنوات قد تتفوق في بعض الحالات على البرايلت وغيره من الأدوية الپپتيدية.

ومع ذلك فإن مصممي الجزيئات العضوية الصغيرة قد يستخدمون ببتيدات الحلزون كنقطة انطلاق لاستنباط أدوية جديدة. ومع ازدياد الاهتمام بقدرة الحلزونات المخروطية على تكوين المواد الكيميائية، فإن البلدان التي تعيش فيها هذه الحلزونات قد تصبح أكثر حرصا على تلك هذه المناجم الجينية الغنية. فقد أثارت الصحافة الفلپينية في بعض الأوقات موضع **القرصنة الحيوية** biopiracy. كما أن رسالة وجهها إلى مجلة *Science* عام 2003 باحثون من كلية الطب بجامعة هارڤرد وجامعة «يورك» وكلية الطب بجامعة شيكاگو ينتقدون فيها بشدة الأخطار التي تتعرض لها الحلزونات المخروطية وبيئتها بفعل هواة جمع الحلزون واستثمار الشواطئ والتلوث والتبدلات المناخية وغيرها من الأسباب. ويقدر هؤلاء الباحثون أن مئات الآلاف من هذه الحيوانات تستخدم كل عام من قبل الباحثين الأمريكيين. على الرغم من أن الإجابة عن تلك الرسالة ذكرت أن العلماء لا يحتاجون إلى أكثر من 5000 حلزون كل عام لاستخلاص ذيفاناتها وتحليلها ثم تركيبها، ويحتفظ أحد المختبرات بمزرعة للحلزون تمكّن العاملين من احتلاب الرخويات من دون القضاء عليها.

قد تكون الأسلحة الحيوية مثيرة للقلق مثل القرصنة الحيوية، فمنذ 2001/9/11 وجد العلماء المنهمكون في الأبحاث المتعلقة بذيفان **الحلزون المخروطي** cone snail أن القواعد التي تنظم التعامل مع الروسي عام 1992، كان الباحثون يحاولون إدخال جينة الپپتيد القاتل C. geographus من الحلزون المخروطي في جينوم (مجين) ڤيروس الجدري، وكان من شأن ذلك أن يوجه ضربة مزدوجة مدمرة للضحايا. لقد أخفق الفريق الروسي في تركيب هذا النوع الغريب من ڤيروس **الجدري الهجين** conotoxin الحامل لذيفان الحلزون المخروطي الذي كان بإمكانه أن يقتل ما يقرب من مئة في المئة من المصابين. ومن المرجح أن ما كان ينقصهم هو الوقت فقط. يقول «S. پوپوف» [وهو باحث رئيسي في مجال **الأسلحة البيولوجية** Bioweapons ويعمل أستاذا للبيولوجيا في جامعة جورج ميسن] «كان بالإمكان حل هذه المشكلات.»

إن قصة الحلزون المخروطي، هذا الرخوي الوضيع الذي صعد إلى قمة سلسلة الأغذية البحرية، ستستمر في إدهاش الباحثين. ففي عام 1998 نشر سياسي تايلندي بارز، تحت اسم مستعار هو «P. أديركس»، كتابا بعنوان «التأثير كينگ كونگ The King Kong Effect» تحدَّث فيه عن مؤامرة لاغتيال رئيس أمريكي باستخدام سم الحلزون المخروطي. ولا يحتاج البيولوجيون إلى استخدام خيالهم، إذ إن ببتيدات خمسين ألف حلزون مخروطي ستجعلهم يستمرون في تأملاتهم حول هذه المعجزة التطورية لعدة عقود قادمة. ■

مراجع للاستزادة

A New Way to Spell Relief: V-e-n-o-m. W. Wayt Gibbs in *Scientific American*, Vol. 274, No. 2, pages 20–21; February 1996.

Secrets of the Killer Snails. Alisa Zapp Machalek. Findings, National Institute of General Medical Sciences, September 2002. Available at **www.nigms.nih.gov/news/findings/sept02/snails.html**

Ziconotide: Neuronal Calcium Channel Blocker for Treating Severe Chronic Pain. G. P. Miljanich in *Current Medicinal Chemistry*, Vol. 11, No. 23, pages 3029–3040; December 2004.

A prodigious resource for all things cone snail, maintained by Bruce Livett, professor of biochemistry and molecular biology at the University of Melbourne, can be found at the Cone Shells and Conotoxins site: **http://grimwade.biochem.unimelb.edu.au/cone/index1.html**

منع الأشعة السينية من النفاذ(*)

محاولات طبيب حماية نفسه من خطر الإشعاع أدخلته في تجارة الثياب المستعملة.

إذا كانت الحاجة أمّ الاختراع فإن حماية الذات هي بالتأكيد واحدة من أمهات هذه العائلة. والحالة التي توضح هذا الأمر هي من بنات أفكار <F .R. ديميو> [وهو طبيب تخدير يعمل في ولاية فلوريدا] وكثيرا ما يأخذ صورا شعاعية لمرضاه الذين يعانون آلاما مزمنة في الظهر والعنق.

وبسبب قلق <ديميو> من **الضرر التراكمي** cumulative الذي يمكن أن تلحقه الأشعة السينية في جسده بدأ بحثه قبل سنين عديدة عن طريقة لحماية نفسه على نحو أفضل من الطريقة المعتادة التي تتلخص في ارتداء صدرية طبية ثقيلة من الرصاص أو قفازات أو درع تقي الغدة الدرقية أو نظارات واقية من الزجاج الرصاصي أو الاضطرار لمغادرة الغرفة مرارا أثناء التصوير بالأشعة السينية للبقاء على مسافة أمان كافية من مصدر الإشعاع.

وبعد ثماني سنوات من البحث المشترك توصل هذا الطبيب المُبادر إلى صنع قماش فريد أساسه مركب پوليميري سماه ديمرون Demron. وهذا القماش لا يوقف فقط الأشعة السينية والإصدارات النووية (أشعة كاما وجسيمات ألفا وجسيمات بيتا) بنفس كفاءة الألبسة الواقية المستخدمة حاليا والتي أساسها الرصاص، وإنما هو أيضا أكثر مرونة وارتداؤه أسهل كثيرا؛ في حين لا يمنع البلاستيك الخفيف الوزن والشائع الاستعمال مرور الأشعة السينية وأشعة كاما على الإطلاق.

إضافة إلى ذلك، يبدو أن هذه الأقمشة الجديدة غير نفوذة للكيماويات والمواد البيولوجية الحربية القاتلة. ولهذا، يمكن استخدامها بزّةً كاملة واقية لرجال الطوارئ وللعاملين في مجال المواد الخطرة و«أوائل المنقذين في مسارح الكوارث». ويقوم حاليا خبراء في وزارة الدفاع الأمريكية بتقويم فعالية ديمرون لدى استخدامه في البزّات الواقية من المؤثرات النووية والبيولوجية والكيماوية تجاه المواد الكيميائية الحربية الشائعة، مثل غاز الخردل والغاز VX وغاز الأعصاب والغاز سارين sarin وتبلغ تكلفة الرداء الكامل للجسم 600 دولار تقريبا. إن بالإمكان أيضا تفصيل هذا القماش الجديد لصنع خيام واقية من الإشعاع، وكذلك لاستخدامه بطانةً للطائرات والمركبات الفضائية وأغطيةً للتجهيزات الحساسة وألبسةً طبية وقائية.

كان <ديميو> قلقا بسبب الارتفاع المستمر **لجرعة** dosage الإشعاع الكلية التي يتعرض لها. فأخذ يتقصى طريقة لإنقاص تعرّضه وتعرض العاملين معه. ويذكر <ديميو>: «لقد دخلت مصلحة تحجيب الإشعاع لأسباب منها حماية الذات والعيش مدة أطول.»

إن من الصعب على أولئك الذين يمارسون العمل في مجالات الأشعة السينية والمواد النووية الحد من الجرعة التي يتعرض لها الواحد منهم. ويعلق <ديميو>: «إن معظمهم، على سبيل المثال، يعمل بأقسام مختلفة في المستشفيات وإن كل قسم يستخدم مجموعة مختلفة من البطاقات الصدرية لقياس الجرعة. وبالكاد نجد من يعمل على جمع كل الجرعات المقيسة بصورة منفصلة.» وتعقيد الأمر هو مشكلة دائمة، ذلك أن الأنظمة تمنع العاملين في المجالين الطبي والإشعاعي من الاستمرار في وظائفهم إذا كانوا قد تجاوزوا الجرعات التراكمية الآمنة. ويقول <ديميو>: «لا يرغب الناس عادة في معرفة جرعتهم الإجمالية لأنهم لا يريدون أن يجبروا على توقيفهم عن العمل، والقلة منهم ترغب في ارتداء صدرية أو مئزر رصاصي أثناء العمل (وهذه تكلف ما بين 85 و 600 دولار) وتكون في العادة مصنوعة من صفائح مسحوق الرصاص الثقيل الحمل والمربك في قالب پوليميري.»

وعلى الرغم من أن خبراء الأمان الإشعاعي الذين استشارهم <ديميو> كانوا متشككين، فقد بدأ بتمويل مشاريع بحثية وظف فيها خبراء في الكيمياء، وعلوم المواد بغية البحث عن مواد خفيفة مرنة تستطيع إيقاف الأشعة السينية. وفي

(*) X-RAY PROOFING



البزّات الجديدة تقاوم الإشعاع ومريحة للارتداء لفترات طويلة.

النهاية أسس الطبيب شركة في مدينة ميامي سماها «**تقانات الدرع الإشعاعي**» Radiation Shield Technologies (RST) بغرض تطوير منتجه وتسويقه. ويستمر «ديميو» في ممارسة مهنة الطب إضافة إلى كونه المدير الرئيسي للشركة.

في البداية درست مجموعة البحث الصغيرة التدريع المعدني، لكن تبين أن ذلك لم يكن سوى واحد من الحلول العقيمة العديدة. فالرصاص سام وثقيل وضخم، ولذلك غض النظر عنه. ويقول «ديميو»: «لقد أبدى النحاس والألنيوم بعض الاستجابة [في الحجب] لكن لم يكن هناك شيء مفيد جدا. عملنا فيما بعد على تضمين جسيمات معدنية في القماش وحصلنا على بعض براءات الاختراع في ذلك المجال. ثم خضنا في تجارب في محاولة لإيجاد بوليميرات توهن الإشعاع.»

وبعد جهد كبير غير مثمر توصل فريق الشركة RTS إلى مركب بوليميري من البولي أوريتان والبولي فينيلكلورايد يحتوي على مجموعة متنوعة من جسيمات أملاح عضوية ولاعضوية توقف الإشعاع. إن لمكونات هذه الأملاح أعدادا ذرية[3] عالية، وهي لذلك

ارتدى فريق تطهير المواقع المسممة بزّات[1] الديمرون الواقية[2] لساعات، بل ومارسوا الجمباز وهم يرتدونها.

توقف الإشعاع بكفاءة أكبر. ويقول «ديميو»: «تبدو مادتنا وتتصرف وكأنها مطاط كثيف.»

يعمل القماش ديمرون بطريقتين تبعا لنوع الإشعاع. وكما يوضح «ديميو»، عندما تلاقي الأشعة السينية أو أشعة گاما هذه الجسيمات الملحية المبعثرة فإما أن تمتص (بوساطة الأثر الكهرضوني) وتستنفد طاقتها عن طريق توليد الحرارة أو أنها تتبعثر وتصبح عند مستوى طاقة مختلف (بوساطة **أثر كومپتون** Compton effect)، ومن ثم تُمتص أو تحرفها الجسيمات المحيطة بها. وهذه الامتصاصات والتبعثرات المتتالية تمنع الإشعاع المؤذي من اختراق أنسجة الجسم. وعندما تضرب جسيمات ألفا وبيتا الديمرون فإن الإلكترونات الموجودة في ذرات الأملاح تحرفها وتبطئها، ومن ثم تمتصها المادة.

وبما أن آلات الأشعة السينية تصدر طيفا من الفوتونات وأن **النُّويدات** nuclides المشعة الشائعة تصدر جسيمات ذات طاقات مختلفة، فينبغي تفصيل المواد المُوقِفة للإشعاع في القماش ديمرون لتناسب هذه الطاقات المختلفة، وتدعى هذه التقنية **التقسية الطيفية** spectral hardening. ويقول «ديميو»: «لكل مادة توهين أضفناها مستوى طاقة جيد للامتصاص أو البعثرة، وهذا يشبه عملية تركيب عوازل صوتية. فلوح من الخشب سمكه بوصة واحدة يوقف بعض الترددات الصوتية، لكن لوحا مشابها مؤلفا من طبقتين سمك إحداهما ربع بوصة وسمك الأخرى ثلاثة أرباع البوصة يوقف عددا أكبر من الترددات.»

يمكن صنع المركب البوليميري بشكلين: الأول ملاءة من أغشية رقيقة أو أشكال مقولبة عن طريق الحقن. وكان المعروض الأول من الديمرون للشركة RST مصنوعا من طبقتين من القماش إحداهما محبوكة والأخرى غير محبوكة بينهما الغشاء الرقيق. وتكون سماكة القماش الناتج نحو 0.43 مليمتر وكثافته 0.7 غرام للبوصة المربعة تقريبا.

ومع أن كثافة ديمرون تقارب كثافة المادة التي تدخل في صداري الحماية المصنوعة من مكونات أساسها الرصاص، فإنه ينثني ويتغضن وينطوي بسهولة. وقد أثبت هذا القماش الرقيق المطاوع جدارته ضد كل من الأشعة السينية والإشعاع النووي في اختبارات أجريت في مختبر لورنس ليفرمور الوطني وفي مركز الأبحاث النووية نيلي في معهد جورجيا للتقانة وفي قسم الطب الإشعاعي بكلية الأطباء والجراحين التابعة لجامعة كولومبيا. وعلى أية حال ليس من الواضح بعد فيما إذا كان الديمرون يتلف عندما يتعرض لإشعاع طويل الأمد. هذا القماش غير نفوذ للهواء والسوائل ويستطيع أن يقاوم على أقل تقدير ثماني ساعات من التعرض لغازي الكلور والأمونيا الأكّالين.

ولأن الديمرون يسمح بالتخلص من الحرارة عن طريق التبادل الحراري، فإنه يبقى بارد الملمس وهو يطلق الحرارة الداخلية إلى الهواء المحيط به. يقول «ديميو»: «لهذا يمكن استخدامه لتغطية كامل سطح الجسم.» وفي صيف عام 2002 جرّب فريق تطهير المواقع المسممة نماذج أولية لبزّات مصنوعة من الديمرون ليختبروا مدى ملاءمتها للارتداء فترات طويلة. ويقول «ديميو» إن «تقويم صلاحيتها الميدانية كان جيدا. كان باستطاعة الفريق ارتداء البزّات ساعات طويلة كل مرة، حتى إنه كان باستطاعتهم ممارسة الجمباز وهم يرتدونها. أما الألبسة الواقية من الإشعاع والجراثيم والكيماويات المستخدمة حاليا فتشبه حمامات البخار المتحركة. حتى إن الجنود الذين يرتدونها يمكن أن يقضوا نحبهم بسبب «ضربات الحر الصحراوية.»

وفي الشهر 2002/10 تعاقدت الشركة RST مع شركة لصنع الملابس لتصنيع بزّات كاملة لأفواج التدخل السريع والعاملين في التطهير الميداني. أما الخطوة التالية التي سيهتم بها «ديميو» فهي إنتاج قفازات مقولبة بالحقن، إضافة إلى أغطية واقية للتجهيزات حسب الطلب.

يقول «ديميو»: «إن الطلبات على البزّات الواقية تتراكم لدينا. لقد لقيت منتوجاتنا الأولى إقبالا عظيما إلى حد ما.» وقد قطع ديمرون حتى الآن شوطا كبيرا في إثبات أن درعا واقيا من الإشعاع رقيقا مرنا جدا وقابلا للارتداء ليس بالاستحالة التقنية في نهاية المطاف. ■

<S. أشلي>

(1) بزات واقية (مقاومة للمواد الخطرة)

(2) hazmat suits

(3) العدد الذري هو عدد البروتونات في ذرة عنصر معين (التحرير)

معرفة عملية

أنسجة أنيقة
قمصان باردة(*)

العرق يُبرّد الجسم بفعل تبخره من الجلد، إلا أن الملابس تحبس هذه الرطوبة فترتفع درجة حرارة الجسم، ما يؤدي إلى تعرّق أكثر. ولتفادي ذلك يعمل صانعو الملابس على تشريب أقمشة الرياضيين بمواد «معالجة للرطوبة» تقوم بامتصاص قطرات العرق وتجف بسرعة ـ وهذه هي بوادر ملابس التقانة العالية التي ستظهر في السوق

هناك عوامل عديدة تعزّز صناعة هذه المنسوجات، مثل «كوول ماكس» من الشركة دوپون و«مويستكس» من الشركة أزاهي كاساي. فالمصنعون يقومون حاليا **ببثق**(1) extruding بوليسترات متطورة على شكل ألياف ذات نسبة رطوبة منخفضة في حدود 0.5 في المئة، مقابل 4 في المئة في النايلون و6 إلى 7 في المئة في القطن، لذلك فهي تتشرب السوائل وتجف بشكل أسرع. وتتيح تقنيات البثق الجديدة للصانعين إنتاج ألياف ذات مقاطع عرضية غير مألوفة [*انظر الشكل*] تسمح لقطرات العرق بالانسياب بعيدا.

إن صناعة قماش أبرد «هي عملية متقنة تتطلب الموازنة بين عدة مواصفات» على حد قول <M. هانت> [كبير الباحثين الكيميائيين في الشركة «دوپون» للنسيج والداخليات (DPIT)، في «هاي پوينت» بولاية كارولينا الشمالية].

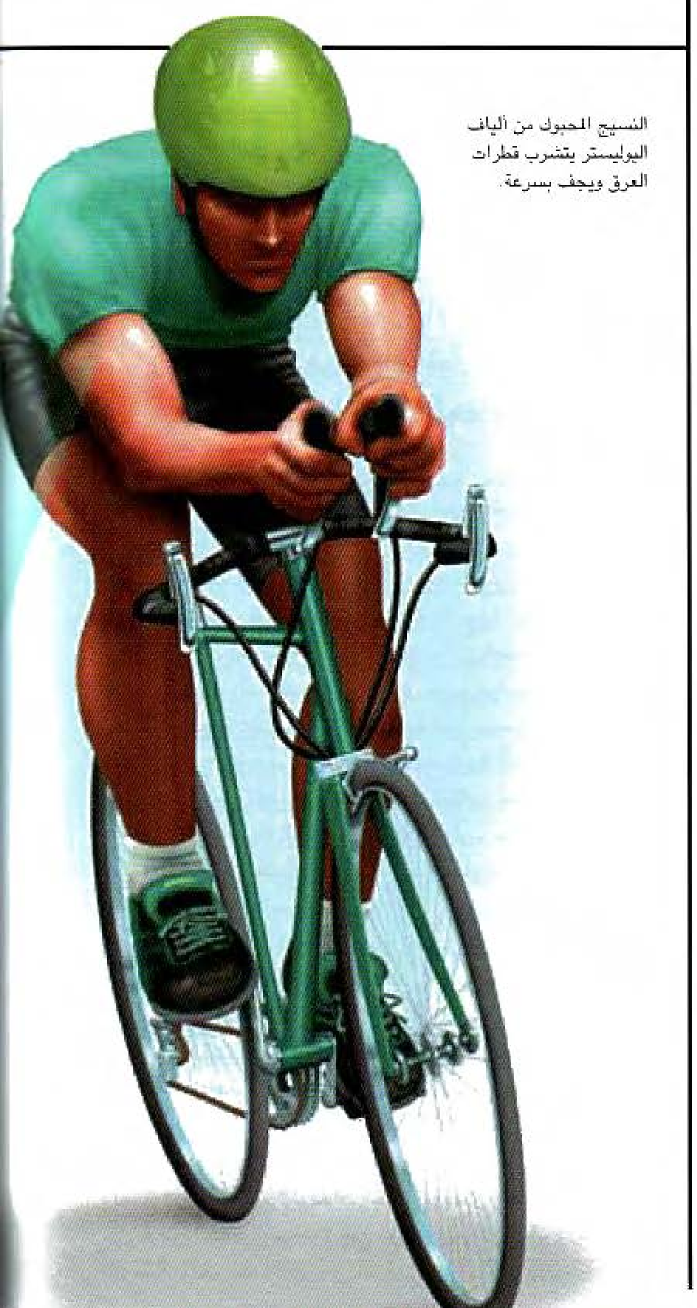
وفي صناعة الملابس الرياضية الشتوية التي تبدد الرطوبة ولكنها تحتفظ بالحرارة، يستخدم المصنعون أليافا مجوفة مبثوقة بطريقة خاصة، بحيث تحتفظ بالهواء العازل. «فالشعر المكوِّن لفرو الدب القطبي مجوف،» كما يلاحظ <هانت>. والشركتان CW-X و«أندر أرمور» وغيرهما من صناع ما يسمى الملابس **الضاغطة** compression التي تساعد على تثبيت العضلات في أمكنتها، بدؤوا يخلطون ألياف التشريب بطيقان ضاغطة (من الليكرا(3) Lycra غالبا)، حتى لا تتسبب الملابس المُلْتزّة تماما في تسخين أجسام الرياضيين.

ويتنافس الباحثون في إيجاد أقمشة «ذكية»(2) تتفاعل مع الظروف المتغيرة، مثل القمصان التي يتغير لونها في ضوء الشمس، والسترات المُهوّاة التي تصبح فجأة كتيمة للماء عندما تصيبها قطرات المطر. فبنيتها الأساسية ألياف موصلة conductive من البوليمرات(4) المشوبة بمواد إضافية، مثل حمض الكافور السلفوني $C_{10}H_{16}O$، القادر على نقل الشحنات الكهربائية. فالمطر يغيِّر الموصلية الكهربائية النسيج، ومن ثم تتقلص الشوائب فيه (أي تنكمش)، ما يؤدي إلى إغلاق مسامات النسيج.

«لقد أنتجنا خيوط غَزْل موصلة، وحَكْناها نسيجا،» كما يقول <F. كو> [أستاذ هندسة المواد في جامعة دركسل]. ولكن المنتجات مازال أمامها عدة سنوات على الأقل لكي تظهر في الأسواق.

ويضيف <كو> «إن التحدي الذي نواجهه حاليا هو صناعة نسيج يتمتع بالثبات، بحيث يصمد أمام تأثيرات التعرّق، وبالمتانة الكافية عند وضعه في أجهزة الغسيل.» ■

<M. فيشتي>



النسيج المحبوك من ألياف البوليستر يتشرب قطرات العرق ويجف بسرعة.

(*) COOL SHIRT

(1) البثق هنا، عملية لإنتاج ألياف صنعية متواصلة وذلك بدفع مادتها الخام اللينة لتمر عبر أداة مثقَّبة.

(2) smart fabrics: باعتبار أنها تغير من مواصفاتها تلقائيا تبعا للظروف المحيطية.

(3) علامة تجارية (ماركة) لألياف البولي يوريثان المرنة الخفيفة (من الشركة دوپون).

(4) ويقال أيضا: المتماثرات. (التحرير)

■ مضادة للالتصاق: الألياف الصُنعية مريحة، ويعض ذلك مرده إلى أنها لا تحتفظ بالرطوبة. ولكن من الصعب على مثل هذا النسيج أن يبدد الشحنة الكهربائية الساكنة (الكهراكدة)، لذلك فهو يميل إلى الالتصاق والتماسك. ولهذا يضيف إليه بعض الصناع مواد مضادة للكهربائية الساكنة.

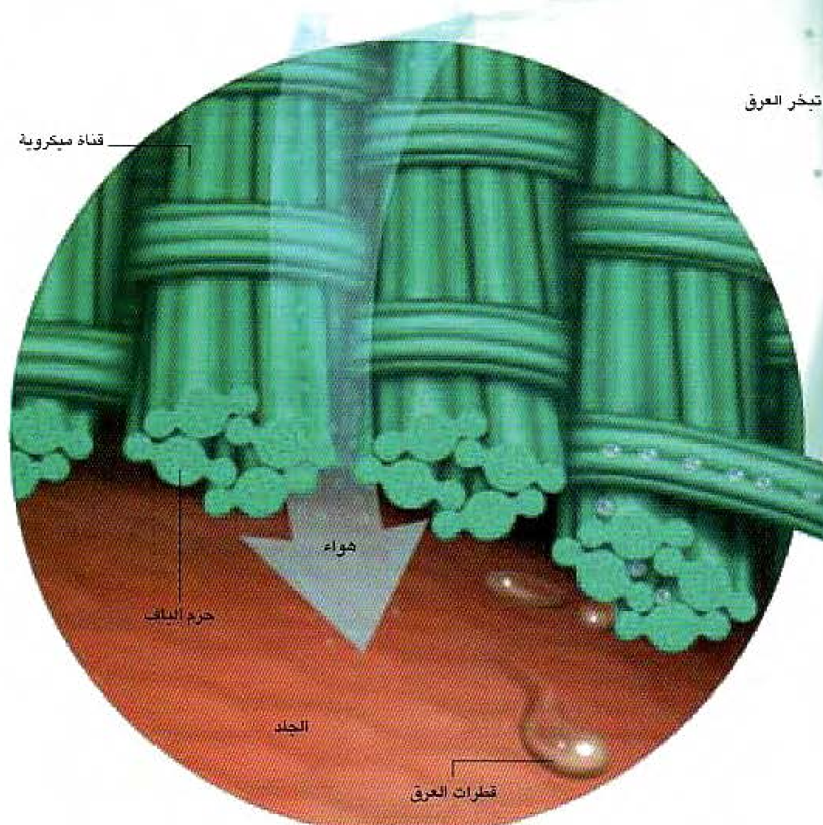
■ مضادة للبقع: عندما أعلنت الشركة «دُكَرز» عن خط إنتاج لبناطيلها الجديدة «ارتدي اللون الخاكي» Go Khakis، قالت إنها استخدمت «التقانة النانوية» nanotechnology للحصول على مقاومة عالية لها ضد البقع واللُطخ. ولكن خبراء الصناعة لاحظوا أن البناطيل كانت ببساطة مكسوّة بالتفلون teflon، الذي يخفض التوتر السطحي surface tension ، بحيث تصبح السوائل أقل التصاقا بصورة عامة. ويمكن تسمية الجزيئات بأنها «تقانة نانوية»، إلا أن الإكساء بالتفلون ليس أمرا جديدا.

■ مضادة للإشعاعات الشمسية: نعم، قد تصاب بحروق من الإشعاعات الشمسية إذا ارتديت قميصا بنيته فضفاضة. ويستطيع المصنعون إنتاج نسيج أكثر تراصا لسد التفاريج بين الخيوط، ولكن ذلك يقلل من جريان تيار الهواء، ما يجعل القميص يبدو رطبا نديا عند ارتدائه. كما يستطيع المصنعون بدلا من ذلك أن يضيفوا إلى الألياف مادة تقلل من لمعانها، مثل ثنائي أكسيد التيتانيوم، وتكون قادرة على بعثرة الأشعة فوق البنفسجية.

■ حرباء CHAMELEON: إذا استطاع الكيميائيون تركيب بوليميرات موصلة مشوبة ببعض الإضافات القادرة على نقل الشحنة الكهربائية (*انظر النص الرئيسي*)، فإنهم يستطيعون أيضا صنع قميص يتحول لونه من الأخضر إلى الأزرق عندما ينتقل لابسه من الظل إلى ضوء الشمس. فطاقة الشمس تغير قيمة التيار الكهربائي، الذي بدوره يبدّل توجيه جزيئات الشوائب، ومن ثم تتغير ألوان الضوء التي تمتصها. ويجرب الجيش الأمريكي حاليا أنواعا من هذه الملابس لمزيد من التمويه المتقلب. وفيما يسمى الملبوسات المزاجية mood clothing، تغير الأصبغة ألوانها استجابة لتغير درجة الحرارة.



البوليستر في نسيج «كوول ماكس» مبثوق على شكل ألياف بيضوية المقطع، تؤمن قنوات ميكروية تساعد على سحب قُطيرات العرق بعيدا عن الجلد بفعل الظاهرة الشعرية



في أحد التصاميم، تحتوي حُزم خيوط الغزل الملامسة للجلد على فتائل أقل، ولكنها أعرض (وبذلك تكون مساحة سطحها أصغر) من الحزم الداخلية ذات الفتائل الأكثر والأصغر (أي ذات مساحة أكبر). إن تدرج مساحة السطح يسوق قطرات العرق من الداخل نحو الخارج، مثلما تفعل إسفنجة وحيدة الاتجاه، وينشر الرطوبة على الوجه الخارجي معززا تبخرها. وتسمح الفجوات الموجودة في الحبكة بدخول هواء التبريد

تتمة الصفحة 51 (إيقاف السپامات)

لمستخدميهم ومعدل الشكوى على كل بريد، ومن ثم التأكد من أنه لا يوجد من بين مستخدمي هذه الشركات (التي تقدم خدمة الإنترنت) سپاميون.

إذا ما تبنى معظم المرسلين الشرعيين نظاما كهذا (ولا يوجد سبب لغير ذلك)، يمكن جعل مصفيات الرسائل السپامية أكثر عدوانية في التعامل مع بقية البريد، ومن ثم إيقاف الجزء الأعظم من الرسائل غير المجدية (الجنكية). ويمكن دمج نظم السُّمعة في نُظم التجاوب المتحدّي، بحيث يحصل أولئك الذين لا يستطيعون الانضمام، على طريقة بديلة لإرسال بريدهم.

لقد أصبح القانون CAN-SPAM فاعلا في الولايات المتحدة في الشهر 2004/1. والقانون نفسه لا يُجرِّم عمليات إرسال الرسائل السپامية، ولكنه يمنع فقط استخدام التقنيات غير الأخلاقية بالذات، مثل استخدام معلومات مزيفة مقابل «من» "From" في عنوان المرسل. ولسوء الحظ، فإن القانون CAN-SPAM لم يكن له سوى أثر ضئيل جدا حتى الآن. فقد زادت فعلا نسبة استخدام الرسائل السپامية التي تستخدم "From:" بصورة مخادعة من 41 في المئة إلى 67 في المئة منذ تفعيل القانون. وفي المقابل، فقد فرضت الأمم الأوروبية قانونا أكثر صرامة، يمنع إرسال رسائل إلكترونية تجارية من دون إذن صريح من المستقبِل. وبناء على شواهد نادرة، فقد كانت هذه القوانين فعالة بشكل ما، على الأقل في إيقاف الرسائل السپامية من قبل الشركات الشرعية.

ومن الواضح أنه لا يمكن لقانون في دولة واحدة أن يأمل إيقاف الرسائل السپامية. إن نصف عدد الرسائل الإلكترونية غير المجدية (الجنكية) يأتي من الولايات المتحدة. فقط منتج واحد من ثلاثة يتم بيعها من خلال الرسائل غير المجدية (الجنكية) (مثل التأمين أو تمويل الرهونات) يتطلب وجودا في الولايات المتحدة. أما الأخرى، بما في ذلك المواضيع الخلاعية و«المنشطات العشبية» والتحايلات الائتمانية، جميعها في خارج الولايات المتحدة أو يمكنها الانتقال للخارج أو أنها غير مشروعة أصلا.

مستقبل ليس فيه سپامات(*)

إن الصناعة وجماعة البرمجيات المفتوحة والجماعة الأكاديمية تستمر معا في دراسة كيفية إيقاف السپامات. وقد قمنا حديثا بالمساعدة على تنظيم أول مؤتمر رسمي عن هذا الموضوع - **مؤتمر البريد الإلكتروني ومناهضة الرسائل السپامية** Conference on Email and AntiSpam - والذي نجح في جذب باحثين من جميع أنحاء العالم. وقد قام مهندسون من الشركة IBM بعرض كيفية استخدام تقنيات من علم المعلومات البيولوجية، صممت أصلا للكشف عن أنماط في الجينات، لتمييز أنماط في الرسائل السپامية. وأظهر باحثون من الشركة AOL أن نُظم البصمة المتعددة بمفردات لغوية مختلفة يمكن أن تقوم بشكل أفضل بالحماية ضد إبهامات السپاميين. وقد قام فريق من جامعة كاليفورنيا في ديفيس بوصف كيف أن إضافة قليل من الكلمات الشائعة يمكن أن تولد هجوما فاعلا ضد مصفيات الرسائل السپامية، التي تعتمد في عملها على تعلُّم الحاسوب؛ وكيف يمكن، بالتدريب، جعل هذه المصفيات أكثر مقاومة لهذا الهجوم.

يخالجنا بعض الشك في أن مجموعة مشتركة من الطرق الحالية والمستقبلية ستقوم أخيرا بإيقاف معظم الرسائل السپامية. سيكون هناك دائما بعض السپاميين الذين هم على استعداد لدفع ثمن اختراق صناديق بريدنا، ولكنهم يتناقصون باستمرار. ■

(*) Spam-Free Future

المؤلفون

Joshua Goodman - David Heckerman - Robert Rounthwaite

*عملوا معا، لعدة سنوات، على طرق لإيقاف الرسائل السپامية. وفي عام 1997، ابتكر **هيكرمان** و **راونثويت** مع آخرين أول برنامج لتصفية الرسائل السپامية بوساطة تعلم الحاسوب. يدير **هيكرمان** حاليا مجموعة الإحصاء التطبيقي وتعلم الحاسوب (MLAS) في مركز أبحاث الشركة مايكروسوفت. ساعد كل من **كودمان** و **راونثويت** على تنظيم فريق إنتاج الشركة مايكروسوفت الذي يقوم بتزويد تقنيات التصدي للرسائل السپامية المستخدمة في البرمجيات MSN, Outlook, Exchange و Hotmail. و **راونثويت** هو حاليا المخطط الرئيسي للمشروع. وأما **كودمان** فهو عضو في المجموعة MLAS ويجري أبحاثا على الرسائل السپامية وموضوعات تتعلق بالبريد الإلكتروني*

مراجع للاستزادة

A Bayesian Approach to Filtering Junk E-Mail. M. Sahami, S. Dumais, D. Heckerman and E. Horvitz. AAAI Technical Report WS-98-05, Madison, Wis., 1998. **http://citeseer.ist.psu.edu/sahami98bayesian.html**

Pattern Classification. Second edition. Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork. John Wiley & Sons, 2000.

Learning to Filter Unsolicited Commercial E-Mail. Ion Androutsopoulos, Georgios Paliouras and Eirinaios Michelakis. Technical Report 2004/2, NCSR Demokritos. **http://iit.demokritos.gr/~paliourg/papers/TR2004_updated.pdf**

Spam Kings: The Real Story behind the High-Rolling Hucksters Pushing Porn, Pills, and %*@)# Enlargements. Brian McWilliams. O'Reilly, 2004.

Conference on Email and Anti-Spam: **www.ceas.cc**

A Plan for Spam. Paul Graham. **www.paulgraham.com/spam.html**

Spam: Technologies and Policies. Joshua Goodman. **www.research.microsoft.com/~joshuago/spamtech.pdf**

Tips for consumers on how to avoid spam: **www.microsoft.com/athome/security/spam/fightspam.mspx**

U.S. Federal Trade Commission's Web site on spam-related issues: **www.ftc.gov/spam/**

Scientific American, April 2005